

## PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11)Publication number : 2001-150370

(43)Date of publication of application : 05.06.2001

(51)Int.Cl.

B25J 5/00

B25J 9/16

(21)Application number : 11-332934

(71)Applicant : SONY CORP

(22)Date of filing : 24.11.1999

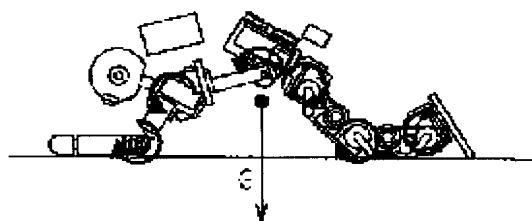
(72)Inventor : HATTORI YUICHI  
ISHIDA KENZO

## (54) LEG-TYPE MOVING ROBOT AND OPERATION CONTROL METHOD FOR THE SAME

## (57)Abstract:

PROBLEM TO BE SOLVED: To provide a leg-type moving robot capable of autonomously and smoothly standing up from its various overturning postures such as falling on its face, falling on its back, falling on its side or the like.

SOLUTION: This leg-type moving robot has a degree of freedom on each roll, pitch and yaw shaft of a body part. The robot can smoothly stand up from an arbitrary overturning posture by using the degree of freedom of the body parts. The concentration of the load to a specific part can be prevented by reducing the load and the required torque to each movable part excluding the body part, and dispersing and averaging the load among the movable parts. As a result, the reliability in the operation of the robot can be improved, and the energy efficiency in a period of the standing-up operation can be improved.



## LEGAL STATUS

[Date of request for examination] 28.08.2003

[Date of sending the examiner's decision of rejection]

[Kind of final disposal of application other than the examiner's decision of rejection or application converted registration]

[Date of final disposal for application]

[Patent number] 3555107

[Date of registration] 21.05.2004

[Number of appeal against examiner's decision of rejection]

[Date of requesting appeal against examiner's decision of rejection]

[Date of extinction of right]

(19)日本国特許庁 (J P)

(12) 公 開 特 許 公 報 (A)

(11)特許出願公開番号

特開2001-150370

(P2001-150370A)

(43)公開日 平成13年6月5日(2001.6.5)

(51)Int.Cl.<sup>7</sup>

識別記号

F I

テーマコード\*(参考)

B 2 5 J 5/00  
9/16

B 2 5 J 5/00  
9/16

F 3 F 0 5 9

審査請求 未請求 請求項の数26 O L (全 26 頁)

(21)出願番号 特願平11-332934

(22)出願日 平成11年11月24日(1999. 11. 24)

(71)出願人 000002185

ソニー株式会社

東京都品川区北品川6丁目7番35号

(72)発明者 服部 裕一

東京都品川区北品川6丁目7番35号 ソニ  
ー株式会社内

(72)発明者 石田 健蔵

東京都品川区北品川6丁目7番35号 ソニ  
ー株式会社内

(74)代理人 100101801

弁理士 山田 英治 (外2名)

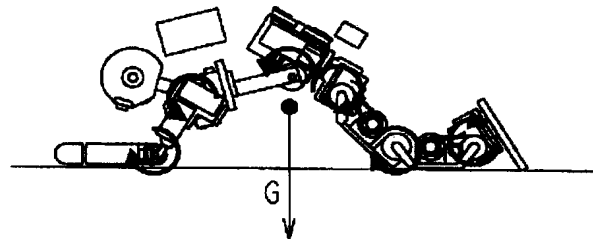
Fターム(参考) 3F059 BA00 BB06 DA08 FC00 FC08

(54)【発明の名称】 脚式移動ロボット及び脚式移動ロボットの動作制御方法

(57)【要約】

【課題】 うつ伏せ、仰向け、横向きなど様々な転倒姿勢からも自律的に確実且つ円滑に起き上がることができる。

【解決手段】 脚式移動ロボットは、体幹部においてロール、ピッチ、ヨーなどの各軸に自由度を有する。任意の転倒姿勢において、これら体幹部の自由度を活用することにより、円滑に起き上がることができる。また、体幹部以外の可動部への負担や要求トルクを軽減するとともに荷重負担を各可動部間で分散・平均化することで、特定部位への集中荷重を回避する。この結果、ロボット運用の信頼性を向上するとともに、起き上がり動作期間中のエネルギー効率が向上する。



## 【特許請求の範囲】

【請求項1】少なくとも下肢と、該下肢の上方に配設された上体とで構成され、下肢の運動により移動自在な脚式移動ロボットであって、

転倒したか否かを判断する転倒判断手段と、

転倒時の姿勢を判定する手段と、

転倒姿勢に応じた起き上がり動作パターンを実行する手段と、を具備することを特徴とする脚式移動ロボット。

【請求項2】少なくとも下肢と、該下肢の上方に配設されて体幹部に所定の可動自由度を持つ上体とで構成され、下肢の運動により移動自在な脚式移動ロボットであって、

転倒したか否かを判断する転倒判断手段と、

転倒時の姿勢を判定する手段と、

転倒姿勢に応じた起き上がり動作パターンを実行する手段と、を具備することを特徴とする脚式移動ロボット。

【請求項3】少なくとも下肢と、該下肢の上方に配設されて体幹部に所定の可動自由度を持つ上体とで構成され、下肢の運動により移動自在な脚式移動ロボットであって、

転倒したか否かを判断する転倒判断手段と、

転倒時に少なくとも前記体幹部の可動自由度の変位を伴う起き上がり動作パターンを実行する手段と、を具備することを特徴とする脚式移動ロボット。

【請求項4】前記体幹部は少なくともピッチ軸方向の可動自由度を有し、前記起き上がり動作パターンは該体幹部ピッチ軸方向の可動自由度を利用することを特徴とする請求項3に記載の脚式移動ロボット。

【請求項5】前記体幹部は少なくともヨー軸方向の可動自由度を有し、前記起き上がり動作パターンは該体幹部ヨー軸方向の可動自由度を利用することを特徴とする請求項3に記載の脚式移動ロボット。

【請求項6】前記体幹部は少なくともロール軸方向の可動自由度を有し、前記起き上がり動作パターンは該体幹部ロール軸方向の可動自由度を利用することを特徴とする請求項3に記載の脚式移動ロボット。

【請求項7】少なくとも下肢と、該下肢の上方に配設されて体幹部に所定の可動自由度を持つ上体とで構成され、下肢の運動により移動自在な脚式移動ロボットであって、

転倒したか否かを判断する転倒判断手段と、

転倒時の姿勢を判定する手段と、

転倒時に他の転倒姿勢に移行するための動作パターンを実行する手段と、を具備することを特徴とする脚式移動ロボット。

【請求項8】前記体幹部は少なくともピッチ軸方向の可動自由度を有し、他の転倒姿勢に移行するための前記動作パターンは該体幹部ピッチ軸方向の可動自由度を利用することを特徴とする請求項7に記載の脚式移動ロボット。

【請求項9】前記体幹部は少なくともヨー軸方向の可動自由度を有し、他の転倒姿勢に移行するための前記動作パターンは該体幹部ヨー軸方向の可動自由度を利用することを特徴とする請求項7に記載の脚式移動ロボット。

【請求項10】前記体幹部は少なくともロール軸方向の可動自由度を有し、他の転倒姿勢に移行するための前記動作パターンは該体幹部ロール軸方向の可動自由度を利用することを特徴とする請求項7に記載の脚式移動ロボット。

10 【請求項11】少なくとも下肢と、該下肢の上方に配設された上体とで構成され、下肢の運動により移動自在な脚式移動ロボットのための動作制御方法であって、転倒したか否かを判断するステップと、転倒時の姿勢を判定するステップと、転倒姿勢に応じた起き上がり動作パターンを実行するステップと、を具備することを特徴とする脚式移動ロボットの動作制御方法。

20 【請求項12】少なくとも下肢と、該下肢の上方に配設されて体幹部に所定の可動自由度を持つ上体とで構成され、下肢の運動により移動自在な脚式移動ロボットのための動作制御方法であって、転倒したか否かを判断するステップと、転倒時の姿勢を判定するステップと、転倒姿勢に応じた起き上がり動作パターンを実行するステップと、を具備することを特徴とする脚式移動ロボットの動作制御方法。

30 【請求項13】少なくとも下肢と、該下肢の上方に配設されて体幹部に所定の可動自由度を持つ上体とで構成され、下肢の運動により移動自在な脚式移動ロボットのための動作制御方法であって、転倒したか否かを判断するステップと、転倒時に少なくとも前記体幹部の可動自由度の変位を伴う起き上がり動作パターンを実行するステップと、を具備することを特徴とする脚式移動ロボットの動作制御方法。

40 【請求項14】前記体幹部は少なくともピッチ軸方向の可動自由度を有し、前記起き上がり動作パターンは該体幹部ピッチ軸方向の可動自由度を利用することを特徴とする請求項13に記載の脚式移動ロボットの動作制御方法。

【請求項15】前記体幹部は少なくともヨー軸方向の可動自由度を有し、前記起き上がり動作パターンは該体幹部ヨー軸方向の可動自由度を利用することを特徴とする請求項13に記載の脚式移動ロボットの動作制御方法。

【請求項16】前記体幹部は少なくともロール軸方向の可動自由度を有し、前記起き上がり動作パターンは該体幹部ロール軸方向の可動自由度を利用することを特徴とする請求項13に記載の脚式移動ロボットの動作制御方法。

50 【請求項17】少なくとも下肢と、該下肢の上方に配設

されて体幹部に所定の可動自由度を持つ上体とで構成され、下肢の運動により移動自在な脚式移動ロボットのための動作制御方法であって、転倒したか否かを判断するステップと、転倒時に他の転倒姿勢に移行するための動作パターンを実行するステップと、を具備することを特徴とする脚式移動ロボットの動作制御方法。

【請求項18】前記体幹部は少なくともピッチ軸方向の可動自由度を有し、他の転倒姿勢に移行するための前記動作パターンは該体幹部ピッチ軸方向の可動自由度を利用することを特徴とする請求項17に記載の脚式移動ロボットの動作制御方法。

【請求項19】前記体幹部は少なくともヨー軸方向の可動自由度を有し、他の転倒姿勢に移行するための前記動作パターンは該体幹部ヨー軸方向の可動自由度を利用することを特徴とする請求項17に記載の脚式移動ロボットの動作制御方法。

【請求項20】前記体幹部は少なくともロール軸方向の可動自由度を有し、他の転倒姿勢に移行するための前記動作パターンは該体幹部ロール軸方向の可動自由度を利用することを特徴とする請求項17に記載の脚式移動ロボットの動作制御方法。

【請求項21】少なくとも下肢と、該下肢の上方に配設されて体幹部に所定の可動自由度を持つ上体とで構成され、下肢の運動により移動自在な脚式移動ロボットがうつ伏せ姿勢に陥ったときのための動作制御方法であって、

少なくとも体幹部ピッチ軸の可動自由度を利用して腕部及び脚部のみで着床する姿勢を形成するステップと、少なくとも体幹部ピッチ軸の可動自由度を利用して脚式移動ロボットの重心を上方に持ち上げるステップと、少なくとも体幹部ピッチ軸の可動自由度を利用して腕部及び脚部それぞれの着床部分における相対的位置を小さくするステップと、

腕部及び脚部それぞれの着床部分同士が充分接近した結果、前記脚式移動ロボットのZMPが足部着床領域に入ったことに応答して、全身の伸展を開始するステップと、を具備することを特徴とする脚式移動ロボットの動作制御方法。

【請求項22】少なくとも下肢と、該下肢の上方に配設されて体幹部に所定の可動自由度を持つ上体とで構成され、下肢の運動により移動自在な脚式移動ロボットが仰向け姿勢に陥ったときのための動作制御方法であって、少なくとも股関節ピッチ軸の可動自由度を利用して上体を起こした姿勢を形成するステップと、少なくとも体幹部ピッチ軸の可動自由度を利用して脚式移動ロボットの重心を前方に移動させるステップと、前記重心が充分前方に移動した結果、前記脚式移動ロボットのZMPが足部着床領域に入ったことに応答して、全身の伸展を開始するステップと、を具備することを特

徴とする脚式移動ロボットの動作制御方法。

【請求項23】少なくとも下肢と、該下肢の上方に配設されて体幹部に所定の可動自由度を持つ上体とで構成され、下肢の運動により移動自在な脚式移動ロボットが横転姿勢に陥ったときのための動作制御方法であって、少なくとも体幹部ヨー軸の可動自由度を利用してうつ伏せ姿勢に移行するステップと、を具備することを特徴とする脚式移動ロボットの動作制御方法。

【請求項24】少なくとも下肢と、該下肢の上方に配設されて体幹部に所定の可動自由度を持つ上体とで構成され、下肢の運動により移動自在な脚式移動ロボットが横転姿勢に陥ったときのための動作制御方法であって、体幹部ロール軸の可動自由度を利用して上体を床面から浮かすステップと、体幹部ヨー軸の可動自由度を利用してうつ伏せ姿勢に移行するステップと、を具備することを特徴とする脚式移動ロボットの動作制御方法。

【請求項25】少なくとも下肢と、該下肢の上方に配設されて体幹部に所定の可動自由度を持つ上体とで構成され、下肢の運動により移動自在な脚式移動ロボットが仰向け姿勢に陥ったときのための動作制御方法であって、少なくとも体幹部ヨー軸の可動自由度を利用して横転姿勢に移行するステップを具備することを特徴とする脚式移動ロボットの動作制御方法。

【請求項26】少なくとも下肢と、該下肢の上方に配設されて体幹部に所定の可動自由度を持つ上体とで構成され、下肢の運動により移動自在な脚式移動ロボットが転倒姿勢に陥ったときのための動作制御方法であって、

- (a) 仰向け姿勢から横転姿勢に移行するステップ、
- (b) 横転姿勢からうつ伏せ姿勢に移行するステップ、
- (c) うつ伏せ姿勢から横転姿勢に移行するステップ、
- (d) 横転姿勢から仰向け姿勢に移行するステップ、のうち少なくとも1つを具備することを特徴とする脚式移動ロボットの動作制御方法。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】本発明は、生体のメカニズムや動作をモデル化して構成されるリアリスティックなロボットのメカニズムに係り、特に、ヒトやサルなどの脚式移動型動物の身体メカニズムをモデル化した脚式移動型ロボットのメカニズムに関する。

【0002】更に詳しくは、本発明は、歩行動作などの最中に転倒してしまった場合であっても自力で起き上がることができる脚式移動型ロボットの制御メカニズムに係り、特に、転倒してしまい様々な姿勢若しくは格好で横たわっている場合であっても自力で起き上がり、転倒により中断した作業を自動的に再開することができる脚式移動型ロボットのための制御方法メカニズムに関する。

【0003】

【従来の技術】電氣的若しくは磁氣的な作用を用いて人間の動作に似せた運動を行う機械装置のことを「ロボット」という。ロボットの語源は、スラブ語のROBOTA（奴隷機械）に由来すると言われている。わが国では、ロボットが普及し始めたのは1960年代末からであるが、その多くは、工場における生産作業の自動化・無人化などを目的としたマニピュレータや搬送ロボットなどの産業用ロボット（industrial robot）であった。

【0004】最近では、ヒトやサルなどの2足直立歩行を行う動物の身体メカニズムや動作を模した脚式移動ロボットに関する研究開発が進展し、実用化への期待も高まってきている。2足直立による脚式移動は、クローラ式や、4足又は6足式などに比し不安定で姿勢制御や歩行制御が難しくなるが、不整地や障害物など作業経路上に凹凸のある歩行面や、階段や梯子の昇降など不連続な歩行面に対応することができるなど、柔軟な移動作業を実現できるという点で優れている。

【0005】ヒトの生体メカニズムや動作をエミュレートした脚式移動ロボットのことを、特に、「人間形」、若しくは「人間型」のロボット（humanoid robot）と呼ぶ。人間型ロボットは、例えば、生活支援、すなわち住環境その他の日常生活上の様々な場面における人的活動の支援などを行うことができる。

【0006】人間形若しくは人間型と呼ばれるロボットを研究・開発する意義を、例えば以下の2つの視点から把握することができよう。

【0007】1つは、人間科学的な視点である。すなわち、人間の下肢及び／又は上肢に似た構造のロボットを作り、その制御方法を考案して、人間の歩行動作をシミュレートするというプロセスを通じて、歩行を始めとする人間の自然な動作のメカニズムを工学的に解明することができる。このような研究成果は、人間工学、リハビリテーション工学、あるいはスポーツ科学など、人間の運動メカニズムを扱う他のさまざまな研究分野の進展に大いに還元することができるであろう。

【0008】もう1つは、人間のパートナーとして生活を支援する、すなわち住環境その他の日常生活上の様々な場面における人的活動の支援を行うロボットの開発である。この種のロボットは、人間の生活環境のさまざまな局面において、人間から教わりながら個々に個性の相違する人間又は環境への適応方法を学習し、機能面でさらに成長していく必要がある。このとき、ロボットが「人間形」すなわち人間と同じ形又は同じ構造をしている方が、人間とロボットとのスムーズなコミュニケーションを行う上で有効に機能するものと考えられる。

【0009】例えば、踏んではならない障害物を避けながら部屋を通り抜ける方法を実地においてロボットに教示するような場合、クローラ式や4足式ロボットのように教える相手が自分と全く違う構造をしているよりも、

同じような格好をしている2足歩行ロボットの方がユーザ（作業員）ははるかに教え易く、またロボットにとっても教わり易い筈であろう（例えば、高西著「2足歩行ロボットのコントロール」（自動車技術会関東支部＜高塑＞No. 25, 1996 APRIL）を参照のこと）。

【0010】人間の作業空間や居住空間のほとんどは、2足による直立歩行という人間が持つ身体メカニズムや行動様式に合わせて形成されている。言い換えれば、人間の住空間は、車輪その他の駆動装置を移動手段とした現状の機械システムが移動するには多くの障壁が存在する。しかしながら、機械システムすなわちロボットが様々な人的作業を代行し、さらに人間の住空間に深く浸透していくためには、ロボットの移動可能範囲が人間のそれとほぼ同じであることが好ましい。これが、脚式移動ロボットの実用化が大いに期待されている所以でもある。人間型の形態を有していることは、ロボットが人間の住環境との親和性を高める上で必須であるといえる。

【0011】人間型ロボットの用途の1つとして、産業活動・生産活動等における各種の難作業の代行が挙げられる。例えば、原子力発電プラントや火力発電プラント、石油化学プラントにおけるメンテナンス作業、製造工場における部品の搬送・組立作業、高層ビルにおける清掃、火災現場その他における救助といったような危険作業・難作業の代行である。

【0012】但し、この種の産業利用に特化したロボットは、特定の用途若しくは機能を実現することが設計・製作上の至上の主題であり、2足歩行を前提とはするものの、ヒトやサルなど直立歩行動物が本来持つ身体メカニズムや動作を機械装置として忠実に再現する必要は必ずしもない。例えば、特定用途を実現するために手先の自由度や動作機能を強化する一方で、作業の用途には比較的關係が低いとされる頭部や体幹部（脊椎など）、腰部などの自由度を制限し又を省略することはある程度許容すべきである。この結果、2足歩行と謂えども、ロボットの作業や動作の外観上で、ヒトとしては不自然さが残ることがあるが、かかる点は妥協せざるを得ない。

【0013】また、人間型ロボットの他の用途として、難作業の代行などの生活支援というよりも、生活密着型、すなわち人間との「共生」という用途が挙げられる。この種のロボットは、ヒトやサルなどの2足の直立歩行を行う動物が本来持つ、全身協調型の動作メカニズムを忠実に再現し、その自然に円滑な動作を実現することを至上の目的とする。また、ヒトやサルなどの知性の高い直立動物をエミュレートする以上、四肢を用いた動作が生体として自然であり、且つ、動作が持つ表現力が豊かであることが望ましい。さらに、予め入力された動作パターンを単に忠実に実行するだけではなく、相手の言葉や態度（「寝める」とか「叱る」、「叩く」など）に応じた、生き生きとした動作表現を実現することも

要求される。この意味において、ヒトを模したエンターテインメント指向の人間型ロボットは、まさに「人間型」のロボットと呼ぶに相応しい。

【0014】既に周知のように、人体は数百の関節すなわち数百に上る自由度を備えている。限りなくヒトに近い動作を脚式移動ロボットに付与するためには、ほぼ同じ自由度を与えることが好ましいが、これは技術的には極めて困難である。何故ならば、1つの自由度に対して少なくとも各1つのアクチュエータを配設する必要があるが、数百のアクチュエータをロボットという機械装置上に実装することは、製造コストの点からも、重量やサイズなど設計の観点からも不可能に等しい。また、自由度が多いと、その分だけロボットの位置・動作パターン制御や姿勢安定制御等のための計算量が指数関数的に増大してしまう。

【0015】このため、人体よりもはるかに少ない数十程度の関節自由度で人間型ロボットを構成するのが一般的である。したがって、少ない自由度を用いてより自然な動作を如何にして実現するかが、人間型ロボットの設計・制御において重要な課題の1つといえる。

【0016】例えば、脊椎などのように柔軟性を持つ機構が人間の生活の場で多様で複雑な動作をするために重要であることは、人間工学などの観点から既に明らかである。脊椎を意味する体幹関節自由度は、産業的な用途上は存在価値が低い、エンターテインメントやその他の生活密着型の人間型ロボットには重要である。なお且つ、状況に応じて柔軟さを能動的に調節できることが求められている。

【0017】また、2足直立歩行を行う脚式移動ロボットは、柔軟な歩行・走行動作（例えば階段の昇降や障害物の乗り越え等）を実現できる点で優れている反面、脚の本数が少なくなるとともに、重心位置が高くなるため、その分だけ姿勢制御や安定歩行制御が難しくなる。特に、生活密着型のロボットの場合、ヒトやサルなどの知性動物における自然な動作や感情を豊かに表現しながら全身の姿勢や安定歩行を制御しなければならない。

【0018】2足歩行による脚式移動を行うタイプのロボットに関する姿勢制御や安定歩行に関する技術は既に数多提案されている。ここで言う安定な「歩行」とは、「転倒することなく、脚を使って移動すること」と定義することができよう。

【0019】ロボットの姿勢安定制御は、ロボットの転倒を回避する上で非常に重要である。何故ならば、転倒は、ロボットが実行中の作業を中断することを意味し、且つ、転倒状態から起き上がって作業を再開するために相当の労力や時間が払われるからである。また、何よりも、転倒によって、ロボット本体自体、あるいは転倒するロボットと衝突する相手側の物体にも、致命的な損傷を与えてしまう危険があるからである。したがって、脚式移動ロボットの設計・開発において、姿勢安定制御や

歩行時の転倒防止は最も重要な課題の1つである。

【0020】歩行時には、重力と歩行運動に伴って生じる加速度によって、歩行系から路面には重力と慣性力、並びにこれらのモーメントが作用する。いわゆる「ダランベールの原理」によると、それらは路面から歩行系への反作用としての床反力、床反力モーメントとバランスする。力学的推論の帰結として、足底接地点と路面の形成する支持多角形の辺上あるいはその内側にピッチ及びロール軸モーメントがゼロとなる点、すなわち「ZMP (Zero Moment Point)」が存在する。

【0021】脚式移動ロボットの姿勢安定制御や歩行時の転倒防止に関する提案の多くは、このZMPを歩行の安定度判別の規範として用いている。ZMP規範に基づく2足歩行パターン生成は、足底着地点を予め設定でき、路面形状に応じた足先の運動学的拘束条件を考慮し易いなどの利点がある。

【0022】例えば、特開平5-305579号公報には、脚式移動ロボットの歩行制御装置について開示している。同公報に記載の歩行制御装置は、ZMP (Zero Moment Point) すなわち歩行するときの床反力によるモーメントがゼロとなる床面上の点を目標値に一致させるように制御するものである。

【0023】また、特開平5-305581号公報に記載の脚式移動ロボットは、ZMPが支持多面体（多角形）内部、又は、着地、離床時にZMPが支持多面体（多角形）の端部から少なくとも所定の余裕を有する位置にあるように構成した。この結果、外乱などを受けても所定距離だけZMPの余裕があり、歩行の安定性の向上を図ることができる。

【0024】また、特開平5-305583号公報には、脚式移動ロボットの歩き速度をZMP目標位置によって制御する点について開示している。すなわち、同公報に記載の脚式移動ロボットは、予め設定された歩行パターン・データを用い、ZMPを目標位置に一致させるように脚部関節を駆動するとともに、上体の傾斜を検出して、その検出値に応じて設定された歩行パターン・データの吐き出し速度を変更するようにしている。この結果、予期しない凹凸を踏んでロボットが例えば前傾するときは吐き出し速度を速めることで姿勢を回復できる。またZMPが目標位置に制御できるので、両脚支持期において吐き出し速度を変更しても支障がない。

【0025】また、特開平5-305585号公報には、脚式移動ロボットの着地位置をZMP目標位置によって制御する点について開示している。すなわち、同公報に記載の脚式移動ロボットは、ZMP目標位置と実測位置とのずれを検出して、それを解消する様に脚部の一方または双方を駆動するか、又は、ZMP目標位置まわりにモーメントを検出してそれが零になる様に脚部を駆動することで安定歩行を行うようになっている。

【0026】また、特開平5-305586号公報には、脚式移動ロボットの傾斜姿勢をZMP目標位置によって制御する点について開示している。すなわち、同公報に記載の脚式移動ロボットは、ZMP目標位置まわりのモーメントを検出し、モーメントが生じているときは、それが零になるように脚部を駆動することで安定歩行を行うようになっている。

【0027】歩行ロボットの転倒という事態を未然に回避するためには最大限の努力を払うべきである。しかしながら、とりわけ脚の本数が少ない2足歩行ロボットの場合、研究段階からようやく実用化の第1歩を踏み出そうという状況下にあるに過ぎず、転倒の可能性を完全に消去することはできない。

【0028】したがって、転倒を未然に防ぐ対策を講じるだけではなく、転倒時の損害を最小限に抑えたとともに、転倒後の作業の復旧、すなわちロボットの起き上がり若しくは立ち上がり動作の信頼性を向上させることが、脚式歩行ロボットの早期実用化のためには肝要である。

【0029】ロボットが様々な障害物や不測の事態を包含する人間の住環境下で動作する上で、「転倒」は不可避である。そもそも人間自体が転倒するものである。したがって、ロボットが転倒した状態から自律的に起き上がる動作パターンを備えることが脚式移動ロボットの完全自動化を実現するための必須の条件である、と言っても過言ではない。

【0030】例えば特開平11-48170号公報には、脚式移動ロボットの転倒の問題に関して取り扱っている。しかしながら、同公報は、転倒しそうな状況において、ロボットの重心を下げるように制御することによって、ロボットやロボットが衝突する相手側の物体の損傷を可能な限り軽減することを提案するものであり、転倒後の作業の復旧、すなわちロボットの起き上がり若しくは立ち上がり動作の信頼性を向上させる点については全く言及していない。

【0031】また、ひとえにロボットが「転倒する」といっても、転倒した姿勢は様々である。例えば2足の脚式移動ロボットの場合、うつ伏せ、仰向け、横向きなど複数の転倒状態がある。一部の転倒姿勢からしか起き上がることができない（例えばうつ伏せ状態からしか起き上がらない）というのでは、自律的な起き上がりやロボットの完全自動化を標榜するには不十分である。

【0032】例えば図35に示すような脚式移動ロボットについて考察してみる。同図に示すロボットは、2足による直立歩行を行う人間型ロボットであり、頭部と、体幹部と、下肢部と、上肢部とで構成される。脚部は歩行に必要な自由度を有し、腕部は想定される作業において必要な自由度を備えるものとする。例えば、各脚部は6自由度を有し、各腕部は4自由度を有する。また、体幹部は、脚部や腕部、頭部を連結する、構造体の中心で

ある。但し、図示に示すロボットの場合、体幹部に自由度を全く持たない。

【0033】一般に、脚式移動ロボットにおける歩行は、脚部の着床面と、重心あるいは動的なモーメントの中心点の相対的な移動を行うことによって実現される。2足歩行のロボットの場合であれば、左右の脚を交互に立脚と遊脚に切り替えることで、所定方向への移動を行う。このとき、基本的には、体重心あるいは動的なモーメントの中心を立脚側へ移動し、また、所定の進行方向にそれを移動させることが必要となる。これらの動作は、脚式移動ロボットにおいては、各部の関節自由度による協調的な駆動によって実現される。図35に示すような両脚にそれぞれ6自由度又はそれ以上の自由度を有する脚式移動ロボットの場合、脚の自由度のみによって、歩行時における体重心又は動的モーメントの中心を移動させることが可能である。

【0034】図36には、図35に示した脚式移動ロボットが直立している状態を示している。このような直立状態では、体正面方向から見たロボットの重心位置は両脚の中心部上にあり、ZMPは両足着床部の略中間の姿勢安定領域内にある。

【0035】また、図37には、この脚式移動ロボットが歩行のために重心を片脚（同図に示す例では左脚）に移動させた状態を示している。すなわち、左股関節部及び左足首関節部のロール方向変位や、これに相応する右股関節部及び右足首関節部のロール方向変位を主成分とする運動によって、ロボットの重心が左脚側に移動して、ZMPが左足の着床領域内に移動する。この結果、ロボットは、左脚のみで全体重を支えることが可能な姿勢を形成する。また、遊脚となった右脚を所望の進行方向に踏み出すことで、歩行を行うことができる。

【0036】主に歩行を想定した2足脚式移動ロボットの場合、自由度の配置によっては脚部に配置される自由度のみでも歩行が可能であり、実機上でもこのような歩行動作パターンが採用されることが多い。さらに、ロボットが行う作業のために、腕部や手部に別途自由度が配置されているのが一般的である。また、頭部についても、視覚認識等を目的とする自由度を有することが多い。

【0037】これに対し、体幹部については、歩行や作業等のロボットが主目的とする動作パターンに必須の自由度とは言えない。このため、現在実用化に向けて開発されている脚式移動ロボットのほとんどは、図35に示したように体幹部に自由度を備えていない（前述）。

【0038】ここで、図35に示すような体幹部に自由度を備えていないタイプの脚式移動ロボットに関する転倒時起き上がり動作について考察してみる。

【0039】例えば図38に示すようなうつ伏せ姿勢から起き上がる場合、まず、両腕部及び両股関節のピッチ軸等を駆動させて、着床部分を腕部と脚部（膝部）だけ

にし、次いで、両着床部の相対的距離を徐々に近付けることにより、ロボットの重心を持ち上げていく(図39を参照のこと)。

【0040】また、重心を持ち上げると同時に足部を前方に移動させる(図40を参照のこと)。この結果、重心が足部着床領域の上空に移動して、ZMPが着床領域すなわち姿勢安定領域に突入して、腕部を床面から離すことが可能となる(図41を参照のこと)。さらに、脚部(膝関節部)を伸展させて重心を持ち上げることによって、起き上がり動作が完結する(図42を参照のこと)。

【0041】しかしながら、実際には、各関節の可動角度や部位間の干渉などの問題のために、重心の移動を充分に行うことができないことが多い。例えば、上記の図40から図41へ姿勢を移行させる際、腕を接地させたままでは、膝を十分に畳み込むことができず、ZMPを足部の着床領域まで移動させることができない。無理にZMPの移動を試みると、ZMPが安定領域に突入する前に腕部が先に離床してしまい、うまく起き上がることができない。

【0042】また、図43に示すように脚式移動ロボットが仰向け姿勢で転倒してしまった場合、ロボットが自律的に、すなわち外部からの物理的な補助なしに起き上がることはさらに困難となる。

【0043】仰向け姿勢から起き上がり動作を行う場合、まず、脚部と腕部で床面に接地する姿勢をとること、重心を上方に持ち上げる(図44を参照のこと)。次いで、着床している足部と腕部との相対的距離を徐々に小さくしていく(図45を参照のこと)。

【0044】足部と腕部との相対的距離が充分小さくなると、ロボットの重心位置を足部着床領域上空まで移動することができる(図46を参照のこと)。この状態では、ZMPが足部すなわち姿勢安定領域内に入っているため、腕部を床面から離すとともに、脚部すなわち膝部を伸展させることによって重心をさらに持ち上げること、起き上がり動作が完結する(図47を参照のこと)。

【0045】しかしながら、実際には、うつ伏せ姿勢から起き上がる場合と同様に、各関節の可動角度や部位間の干渉などの問題のために、重心の移動を充分に行うことができないことが多い。例えば、上記の図45から図46へ姿勢を移行させる際、腕を接地させたままでは、膝を十分に畳み込むことができず、ZMPを足部の着床領域まで移動させることができない。無理にZMPの移動を試みると、ZMPが安定領域に突入する前に腕部が先に離床してしまい、うまく起き上がることができない。

【0046】図38～図42で示したうつ伏せ姿勢からの起き上がり動作、及び、図43～図47で示した仰向け姿勢からの起き上がり動作のいずれの場合も、股関節

部における体前面側への可動角度を拡張することにより、図40及び図41、並びに、図46及び図47に示すボトルネックを解消することができる。しかしながら、実機の脚式移動ロボットにおいて股関節部の可動角度を大きくするためには、体幹部及びその周辺の部材との干渉が発生してしまうので、現実的な解決策とは言い難い。

【0047】また、上述したうつ伏せ及び仰向けいずれの姿勢からの起き上がり動作パターンの場合も、足部を極端に重く構成することによって、脚式移動ロボット全体の重心位置を足部付近に設定すれば、図41や図47において腕部が先に離床してしまう場合であっても、ZMPを姿勢安定領域に移動させることができる。ダルマが自然に起き上がるのと同様の原理である。

【0048】ロボットの重心が常に歩行中の足底の接地範囲にある「静歩行」を行うロボットの場合であれば、ダルマのように全体の重心位置が足部のような低所であっても、安定歩行動作を確保することができる。

【0049】これに対し、ロボットの重心が足底の外に外れるような「動歩行」を行うタイプのロボットの場合、歩行期間中は転倒方向に支持点を強く加速することによって姿勢回復を図るという「倒立振り子」の概念を導入される。すなわち、動歩行型のロボットの場合、動的な重心移動を可能にするために、重心位置を比較的高所になるように、脚部は状態に対して比較的軽量に設計されている。逆に脚部の質量が大きいと、円滑な重心移動が困難となり、歩行そのものに支障をきたす。略言すれば、ロボット全体の重心位置を低所に設定することは、動歩行時の姿勢安定制御が困難になるので、起き上がり動作を行う脚式移動ロボットの一般的解決にはなり得ない。

【0050】図38～図42、並びに、図43～図47を参照しても判るように、体幹部に自由度がないタイプの脚式移動ロボットの場合、腕部、頭部等と脚部との相対的位置の可変量が小さいので、いずれの転倒姿勢からも起き上がることは困難となる。

【0051】他方、ロボットの体幹部を極端に短く構成することにより、あるいは、腕部を極端に長く構成することによって、腕部と脚部との相対的位置の可変量を拡張することができる。この結果、図41や図47に示すようなZMPが姿勢安定領域に入る前に腕部が離床してしまうという現象を解消して、起き上がり動作を実現することができる。

【0052】しかしながら、体幹部を短くしたり、腕部を長くすることは、人間型ロボットの四肢若しくは全身の均整を失うことになり、「人間形」若しくは「人間型」を目指す趣旨から逸脱してしまう。

【0053】また、本出願時における脚式移動ロボットの動向として、ロボット自身の制御ユニットを背面部に搭載することが多い。したがって、仰向けに転倒した場合には、重心位置が背面側に大きく偏ってしまうため、



仰向け姿勢からの起き上がり動作はさらに困難になると想到される(図48を参照のこと)。

【0054】

【発明が解決しようとする課題】本発明の目的は、ヒトやサルなどの脚式移動型動物の身体メカニズムをモデル化した、優れた脚式移動型ロボットのメカニズムを提供することにある。

【0055】本発明の更なる目的は、歩行動作など作業の最中に転倒してしまった場合であっても自力で起き上がることができる、優れた脚式移動型ロボット及びその制御メカニズムを提供することにある。

【0056】本発明の更なる目的は、転倒してしまい様々な姿勢若しくは格好で横たわっている場合であっても自律的に起き上がり、転倒により中断した作業を自動的に再開することができる、優れた脚式移動型ロボット及びその制御方法メカニズムを提供することにある。

【0057】本発明の更なる目的は、うつ伏せ、仰向け、横向きなど様々な転倒姿勢からも自律的に確実且つ円滑に起き上がることができる、優れた脚式移動型ロボット及びその制御メカニズムを提供することにある。

【0058】

【課題を解決するための手段】本発明は、上記課題を参酌してなされたものであり、その第1の側面は、少なくとも下肢と、該下肢の上方に配設された上体とで構成され、下肢の運動により移動自在な脚式移動ロボットであって、転倒したか否かを判断する転倒判断手段と、転倒時の姿勢を判定する手段と、転倒姿勢に応じた起き上がり動作パターンを実行する手段と、を具備することを特徴とする脚式移動ロボットである。

【0059】また、本発明の第2の側面は、少なくとも下肢と、該下肢の上方に配設されて体幹部に所定の可動自由度を持つ上体とで構成され、下肢の運動により移動自在な脚式移動ロボットであって、転倒したか否かを判断する転倒判断手段と、転倒時の姿勢を判定する手段と、転倒姿勢に応じた起き上がり動作パターンを実行する手段と、を具備することを特徴とする脚式移動ロボットである。

【0060】また、本発明の第3の側面は、少なくとも下肢と、該下肢の上方に配設されて体幹部に所定の可動自由度を持つ上体とで構成され、下肢の運動により移動自在な脚式移動ロボットであって、転倒したか否かを判断する転倒判断手段と、転倒時に少なくとも前記体幹部の可動自由度の変位を伴う起き上がり動作パターンを実行する手段と、を具備することを特徴とする脚式移動ロボットである。

【0061】本発明の第3の側面に係る脚式移動ロボットにおいて、前記体幹部は少なくともビッチ軸方向の可動自由度を有し手もよい。この場合、前記起き上がり動作パターンは該体幹部ビッチ軸方向の可動自由度を利用することができる。

【0062】あるいは、前記体幹部は少なくともヨー軸方向の可動自由度を有し手もよい。この場合、前記起き上がり動作パターンは該体幹部ヨー軸方向の可動自由度を利用することができる。

【0063】あるいは、前記体幹部は少なくともロール軸方向の可動自由度を有し手もよい。この場合、前記起き上がり動作パターンは該体幹部ロール軸方向の可動自由度を利用することができる。

【0064】また、本発明の第4の側面は、少なくとも下肢と、該下肢の上方に配設されて体幹部に所定の可動自由度を持つ上体とで構成され、下肢の運動により移動自在な脚式移動ロボットであって、転倒したか否かを判断する転倒判断手段と、転倒時の姿勢を判定する手段と、転倒時に他の転倒姿勢に移行するための動作パターンを実行する手段と、を具備することを特徴とする脚式移動ロボットである。

【0065】本発明の第4の側面に係る脚式移動ロボットにおいて、前記体幹部は少なくともビッチ軸方向の可動自由度を有してもよい。この場合、他の転倒姿勢に移行するための前記動作パターンは該体幹部ビッチ軸方向の可動自由度を利用することができる。

【0066】あるいは、前記体幹部は少なくともヨー軸方向の可動自由度を有してもよい。この場合、他の転倒姿勢に移行するための前記動作パターンは該体幹部ヨー軸方向の可動自由度を利用することができる。

【0067】あるいは、前記体幹部は少なくともロール軸方向の可動自由度を有してもよい。この場合、他の転倒姿勢に移行するための前記動作パターンは該体幹部ロール軸方向の可動自由度を利用することができる。

【0068】また、本発明の第5の側面は、少なくとも下肢と、該下肢の上方に配設されて体幹部に所定の可動自由度を持つ上体とで構成され、下肢の運動により移動自在な脚式移動ロボットがうつ伏せ姿勢に陥ったときのための動作制御方法であって、少なくとも体幹部ビッチ軸の可動自由度を利用して腕部及び脚部のみで着床する姿勢を形成するステップと、少なくとも体幹部ビッチ軸の可動自由度を利用して脚式移動ロボットの重心を上方に持ち上げるステップと、少なくとも体幹部ビッチ軸の可動自由度を利用して腕部及び脚部それぞれの着床部分における相対的位置を小さくするステップと、腕部及び脚部それぞれの着床部分同士が充分接近した結果、前記脚式移動ロボットのZMPが足部着床領域に入ったことに応答して、全身の伸展を開始するステップと、を具備することを特徴とする脚式移動ロボットの動作制御方法である。

【0069】また、本発明の第6の側面は、少なくとも下肢と、該下肢の上方に配設されて体幹部に所定の可動自由度を持つ上体とで構成され、下肢の運動により移動自在な脚式移動ロボットが仰向け姿勢に陥ったときのための動作制御方法であって、少なくとも股関節ビッチ軸

の可動自由度を利用して上体を起こした姿勢を形成するステップと、少なくとも体幹部ピッチ軸の可動自由度を利用して脚式移動ロボットの重心を前方に移動させるステップと、前記重心が充分前方に移動した結果、前記脚式移動ロボットのZMPが足部着床領域に入ったことに応答して、全身の伸展を開始するステップと、を具備することを特徴とする脚式移動ロボットの動作制御方法である。

【0070】また、本発明の第7の側面は、少なくとも下肢と、該下肢の上方に配設されて体幹部に所定の可動自由度を持つ上体とで構成され、下肢の運動により移動自在な脚式移動ロボットが横転姿勢に陥ったときのための動作制御方法であって、少なくとも体幹部ヨー軸の可動自由度を利用してうつ伏せ姿勢に移行するステップと、を具備することを特徴とする脚式移動ロボットの動作制御方法である。

【0071】また、本発明の第8の側面は、少なくとも下肢と、該下肢の上方に配設されて体幹部に所定の可動自由度を持つ上体とで構成され、下肢の運動により移動自在な脚式移動ロボットが横転姿勢に陥ったときのための動作制御方法であって、体幹部ロール軸の可動自由度を利用して上体を床面から浮かすステップと、体幹部ヨー軸の可動自由度を利用してうつ伏せ姿勢に移行するステップと、を具備することを特徴とする脚式移動ロボットの動作制御方法である。

【0072】また、本発明の第9の側面は、少なくとも下肢と、該下肢の上方に配設されて体幹部に所定の可動自由度を持つ上体とで構成され、下肢の運動により移動自在な脚式移動ロボットが仰向け姿勢に陥ったときのための動作制御方法であって、少なくとも体幹部ヨー軸の可動自由度を利用して横転姿勢に移行するステップを具備することを特徴とする脚式移動ロボットの動作制御方法である。

【0073】また、本発明の第10の側面は、少なくとも下肢と、該下肢の上方に配設されて体幹部に所定の可動自由度を持つ上体とで構成され、下肢の運動により移動自在な脚式移動ロボットが転倒姿勢に陥ったときのための動作制御方法であって、(a)仰向け姿勢から横転姿勢に移行するステップ、(b)横転姿勢からうつ伏せ姿勢に移行するステップ、(c)うつ伏せ姿勢から横転姿勢に移行するステップ、(d)横転姿勢から仰向け姿勢に移行するステップ、のうち少なくとも1つを具備することを特徴とする脚式移動ロボットの動作制御方法である。

【0074】

【作用】本発明に係る脚式移動ロボットは、体幹部においてロール、ピッチ、ヨーなどの各軸に自由度を有する。任意の転倒姿勢において、これら体幹部の自由度を活用することにより、円滑且つ容易に起き上がり動作を実現することができる。

【0075】本発明に係る脚式移動ロボットによれば、起き上がり動作時において体幹部の自由度を適用することにより、体幹部以外の可動部への負担や要求トルクが軽減される。また、荷重負担を各可動部間で分散・平均化することで、特定部位への集中荷重を回避することができる。この結果、ロボット運用の信頼性を向上するとともに、起き上がり動作期間中のエネルギー効率が向上する。

【0076】また、本発明に係る脚式移動ロボットによれば、複数の転倒姿勢を順次移行させることにより、より容易な起き上がり動作を選択的に実行することができる。

【0077】また、本発明に係る脚式移動ロボットによれば、複数の転倒姿勢を順次繰り返すことにより、起き上がることなく平面的な移動を実現することができる。この結果、より容易に立ち上がることができる場所まで移動してから起き上がり動作を実行することができる。

【0078】また、本発明に係る脚式移動ロボットによれば、転倒姿勢を変化させることができるので、サポートしなければならない起き上がり動作パターンの種類や数を低減することができる。

【0079】例えば、ロボットがあらかじめ起き上がり動作パターンを用意しておくような場合、動作パターン数の減少により開発期間の短縮や開発コストの軽減が可能となる。また、動作パターン数の減少により、ハードウェアの負担も軽減されるので、その分システムの向上が見込まれる。

【0080】また、ロボットが状況に応じた動作パターンを自律的に生成するような場合には、生成すべき動作パターン数が減少することにより、ロボット自体に搭載すべき演算装置の負担が軽減され、装置製作コストの削減や、ロボット運転時における信頼性の向上などが見込まれる。

【0081】また、本発明に係る脚式移動ロボットによれば、転倒姿勢を変化させることで起き上がり動作パターンを限定することができる。この結果、起き上がり動作のために必要な各アクチュエータの出力トルクや動作範囲などへの要求が軽減される。この結果、設計の自由度が向上するとともに、開発期間の短縮や製作コストの削減などを実現することができる。

【0082】また、転倒姿勢を変化させることで起き上がり方法を限定することができるので、起き上がり動作期間中におけるロボットの消費電力を節約し、バッテリーなどの供給電源への負荷を少なくすることができる。この結果、バッテリー駆動時間が延長し、1回の充電でより長時間の連続運転が可能となり、ロボットの作業時間、作業空間、作業内容等が拡大する。また、必要なバッテリー容量も低減するので、バッテリーの小型・軽量化が可能となり、設計の自由度が向上する。また、バッテリーの要求仕様が軽減するので、バッテリー単価を安価に抑え、シ

システム全体の製作コストや運転コストを節約することができる。

【0083】本発明のさらに他の目的、特徴や利点は、後述する本発明の実施例や添付する図面に基づくより詳細な説明によって明らかになるであろう。

【0084】

【発明の実施の形態】以下、図面を参照しながら本発明の実施例を詳解する。

【0085】図1及び図2には本発明の実施に供される「人間形」又は「人間型」の脚式移動ロボット100が直立している様子を前方及び後方の各々から眺望した様子を示している。図示の通り、脚式移動ロボット100は、脚式移動を行う左右2足の下肢と、体幹部と、左右の上肢と、頭部と、制御部とで構成される。

【0086】左右各々の下肢は、大腿部と、膝関節と、脛部と、足首と、足平とで構成され、股関節によって体幹部の略最下端にて連結されている。また、左右各々の上肢は、上腕と、肘関節と、前腕とで構成され、肩関節によって体幹部の上方の左右各側縁にて連結されている。また、頭部は、首関節によって体幹部の略最上端中央に連結されている。

【0087】制御部は、この脚式移動ロボット100を構成する各関節アクチュエータの駆動制御や各センサ（後述）などからの外部入力処理するコントローラ（主制御部）や、電源回路その他の周辺機器類を搭載した筐体である。制御部は、その他、遠隔操作の通信インターフェースや通信装置を含んでいてもよい。また、図1及び図2に示す例では、脚式移動ロボット100が制御部を背中に背負うような格好となっているが、制御部の設置場所は特に限定されない。

【0088】本実施例に係る脚式移動ロボット100の特徴の1つとして、体幹部が関節自由度を備えている点である。脚式移動ロボット100が人間と共存する上では、脊椎などのように柔軟性を持つ機構が人間の住環境・住空間において多様で複雑な動作をするために重要である（前述）。この体幹部の関節自由度は、人間で言えば「脊椎」に相当する。

【0089】図3及び図4には、脚式移動ロボット100の体幹部の構成を拡大して描いている。

【0090】同図に示すように、体幹部関節は、体幹部ロール軸、体幹部ピッチ軸、及び、体幹部ヨー軸という3つの関節自由度を備えている。例えば、体幹部ロール軸の駆動により、脚式移動ロボット100の上体を、下肢に対して左右に振ることができる。また、体幹部ピッチ軸を駆動することにより、脚式移動ロボット100の姿勢を矢状面において「くの字」状に屈曲させることができる。また、体幹部ヨー軸の駆動により、脚式移動ロボットの上体が下肢に対して相対的に回転し、体を捻らせた格好を形成することができる。

【0091】また、図5には、この脚式移動ロボット1

00が具備する関節自由度構成を模式的に示している。

【0092】図5に示すように、脚式移動ロボット100は、2本の腕部と頭部1を含む上体と、移動動作を実現する2本の脚部からなる下肢と、上肢と下肢とを連結する体幹部とで構成される。

【0093】頭部1を支持する首関節は、首関節ヨー軸2と、首関節ピッチ軸3と、首関節ロール軸4という3自由度を有している。

【0094】また、各腕部は、肩関節ピッチ軸8と、肩関節ロール軸9と、上腕ヨー軸10と、肘関節ピッチ軸11と、前腕ヨー軸12と、手首関節ピッチ軸13と、手首関節ロール軸14と、手部15とで構成される。手部15は、実際には、複数本の指を含む多関節・多自由度の構造体である。但し、手部15の動作自体は、ロボット100の姿勢安定制御や歩行動作制御に対する寄与や影響が少ないので、本実施例ではゼロ自由度と仮定する。したがって、本実施例では、各腕部は7自由度を有することになる。

【0095】また、体幹部は、体幹部ピッチ軸5と、体幹部ロール軸6と、体幹部ヨー軸7という3自由度を有する（前述、並びに、図3及び図4を参照のこと）。

【0096】また、下肢を構成する各々の脚部は、股関節ヨー軸16と、股関節ピッチ軸17と、股関節ロール軸18と、膝関節ピッチ軸19と、足首関節ピッチ軸20と、関節ロール軸21と、足部（足底）22とで構成される。股関節ピッチ軸17と股関節ロール軸18の交点は、本実施例に係るロボット100の股関節位置を定義するものとする。人体の足部（足底）22は、実際には多関節・多自由度の足底を含んだ構造体であるが、本実施例に係る脚式移動ロボット100の足底はゼロ自由度とする。したがって、本実施例では、各脚部は6自由度で構成されている。

【0097】以上を総括すれば、本実施例に係る脚式移動ロボット100全体としては、合計で $3 + 7 \times 2 + 3 + 6 \times 2 = 32$ 自由度を有することになる。但し、エンターテインメント向けの脚式移動ロボット100が必ずしも32自由度に限定される訳ではない。設計・製作上の制約条件や要求仕様等に応じて、自由度すなわち関節数を適宜増減することができることは言うまでもない。

【0098】上述したような脚式移動ロボット100が持つ各自由度は、実際にはアクチュエータを用いて実装される。外観上で余分な膨らみを排してヒトの自然体形状に近似させること、2足歩行という不安定構造体に対して姿勢制御を行うことなどの要請から、アクチュエータは小型且つ軽量であることが好ましい。本実施例では、ギア直結型で且つサーボ制御系をワンチップ化してモータ・ユニットに内蔵したタイプの小型ACサーボ・アクチュエータを搭載することとした。なお、この種のACサーボ・アクチュエータに関しては、例えば本出願人に既に譲渡されている特願平11-33386号明細

書に開示されている。

【0099】図5に示すような自由度構成を備えた脚式移動ロボット100は、転倒することを予め想定し、ほとんど全ての転倒姿勢からの復帰すなわち起き上がり動作を可能とするような配置を有している（詳しくは後述を参照されたい）。したがって、各可動部の出力トルクも転倒姿勢からの復帰動作を勘案した仕様に設定しておくことが好ましい。

【0100】図6には、脚式移動ロボット100の制御システム構成を模式的に示している。同図に示すように、脚式移動ロボット100は、人間の四肢を表現した各機構ユニット30、40、50R/L、60R/Lと、各機構ユニット間の協調動作を実現するための適応制御を行う制御ユニット80とで構成される（但し、R及びLの各々は、右及び左の各々を示す接尾辞である。以下同様）。

【0101】脚式移動ロボット100全体の動作は、制御ユニット80によって統括的に制御される。制御ユニット80は、CPU（Central Processing Unit）チップやメモリ・チップ等の主要回路コンポーネント（図示しない）で構成される主制御部81と、電源装置やロボット100の各構成要素とのデータやコマンドの授受を行うインターフェース（いずれも図示しない）などを含んだ周辺回路82とで構成される。

【0102】本実施例では、電源装置は、脚式移動ロボット100を自立的に駆動するためのバッテリーを含んだ構成（図4には図示しない）となっている。自立駆動型であれば、脚式移動ロボット100の物理的な行動半径は、電源ケーブルによる制限を受けず、自由に歩行することができる。また、歩行やその他の上肢を含めた各種の運動時に、電源ケーブルとの干渉を考慮する必要がなくなり、動作制御が容易になる。

【0103】図5に示した脚式移動ロボット100内の各関節自由度は、それぞれに対応するアクチュエータによって実現される。すなわち、頭部ユニット30には、首関節ヨー軸2、首関節ピッチ軸3、首関節ロール軸4の各々を表現する首関節ヨー軸アクチュエータA<sub>2</sub>、首関節ピッチ軸アクチュエータA<sub>3</sub>、首関節ロール軸アクチュエータA<sub>4</sub>がそれぞれ配設されている。

【0104】また、体幹部ユニット40には、体幹部ピッチ軸5、体幹部ロール軸6、体幹部ヨー軸7の各々を表現する体幹部ピッチ軸アクチュエータA<sub>5</sub>、体幹部ロール軸アクチュエータA<sub>6</sub>、体幹部ヨー軸アクチュエータA<sub>7</sub>がそれぞれ配備されている。

【0105】また、腕部ユニット50R/Lは、上腕ユニット51R/Lと、肘関節ユニット52R/Lと、前腕ユニット53R/Lに細分化されるが、肩関節ピッチ軸8、肩関節ロール軸9、上腕ヨー軸10、肘関節ピッチ軸11、肘関節ロール軸12、手首関節ピッチ軸1

3、手首関節ロール軸14の各々を表現する肩関節ピッチ軸アクチュエータA<sub>8</sub>、肩関節ロール軸アクチュエータA<sub>9</sub>、上腕ヨー軸アクチュエータA<sub>10</sub>、肘関節ピッチ軸アクチュエータA<sub>11</sub>、肘関節ロール軸アクチュエータA<sub>12</sub>、手首関節ピッチ軸アクチュエータA<sub>13</sub>、手首関節ロール軸アクチュエータA<sub>14</sub>がそれぞれ配備されている。

【0106】また、脚部ユニット60R/Lは、大腿部ユニット61R/Lと、膝ユニット62R/Lと、脛部ユニット63R/Lに細分化されるが、股関節ヨー軸16、股関節ピッチ軸17、股関節ロール軸18、膝関節ピッチ軸19、足首関節ピッチ軸20、足首関節ロール軸21の各々を表現する股関節ヨー軸アクチュエータA<sub>16</sub>、股関節ピッチ軸アクチュエータA<sub>17</sub>、股関節ロール軸アクチュエータA<sub>18</sub>、膝関節ピッチ軸アクチュエータA<sub>19</sub>、足首関節ピッチ軸アクチュエータA<sub>20</sub>、足首関節ロール軸アクチュエータA<sub>21</sub>がそれぞれ配備されている。

【0107】各アクチュエータA<sub>2</sub>、A<sub>3</sub>…は、より好ましくは、ギア直結型で且つサーボ制御系をワンチップ化してモータ・ユニット内に搭載したタイプの小型ACサーボ・アクチュエータ（前述）である。

【0108】頭部ユニット30、体幹部ユニット40、腕部ユニット50、各脚部ユニット60などの各機構ユニット毎に、アクチュエータ駆動制御用の副制御部35、45、55、65がそれぞれ配備されている。さらに、各脚部60R、Lの足底が着床したか否かを検出する接地確認センサ91及び92を装着するとともに、体幹部ユニット40内には、姿勢を計測する姿勢センサ93を装備している。これら各センサ91～93の出力により、足底22の着床及び離床期間、体幹部分の傾きなどを検出して、制御目標をダイナミックに補正することができる。

【0109】主制御部80は、各センサ91～93の出力にตอบสนองして副制御部35、45、55、65の各々に対して適応的な制御を行い、脚式移動ロボット100の上肢、体幹、及び下肢の協調した動作を実現することができる。主制御部81は、ユーザ・コマンド等に従って所定の動作パターンを呼び出して、足部運動、ZMP（Zero Moment Point）軌道、体幹運動、上肢運動、腰部高さなどを設定するとともに、これらの設定内容に従った動作を指示するコマンド（すなわちアクチュエータへの指示データ）を各副制御部35、45、55、65に転送する。そして、各々の副制御部35、45…では、主制御部81からの受信コマンドを解釈して、各アクチュエータA<sub>2</sub>、A<sub>3</sub>…に対して駆動制御信号を出力する。

【0110】ここで言う「ZMP」とは、歩行中の床反力によるモーメントがゼロとなる床面上の点のことであり、また、「ZMP軌道」とは、例えばロボット100

の歩行動作期間中などにZMPが動く軌跡を意味する。

【0111】なお、脚式移動ロボット100は、自律駆動型又は遠隔操作型のいずれであってもよい。後者の場合、図6には図示しない通信インターフェース及び外部制御装置との通信手段（例えばEthernetなどの有線又は無線LAN）を含み、主制御部80ではなく、外部制御装置から供給される指示値によって各アクチュエータA<sub>2</sub>、A<sub>3</sub>…の駆動制御やセンサ出力の処理を行うことができる。

【0112】次に、この脚式移動ロボット100における転倒時の動作や処理の手順について説明する。図7には、脚式移動ロボット100の転倒時における動作手順をフローチャートの形式で概略的に示している。

【0113】主制御部80は、姿勢センサ93などの各センサ出力を基に、通常の姿勢を逸脱して転倒に至ったことを検出し又は判定する（ステップS11）。例えば、計画していた姿勢と実際の姿勢の差や、足底の設置確認センサ91及び92によって自身が転倒したことを判定することができる。

【0114】脚式移動ロボット100の転倒時における一般的な姿勢は、「うつ伏せ」、「仰向け」、又は「横向き」のうちのいずれかに該当する。姿勢センサ93の出力により、姿勢センサ取り付け部位における重力方向に対する方向を検出することができる。併せて、脚式移動ロボット100自身の各関節自由度における変位角度を測定することによって、自分自身の転倒時の姿勢を判断することができる（ステップS12）。

【0115】転倒時の姿勢が判定されると、主制御部80は、うつ伏せ、仰向け、横転などの各転倒姿勢に応じた起き上がり動作パターンを呼び出し、あるいは演算処理によって起き上がり動作パターンを生成する（ステップS13）。

【0116】そして、取得した起き上がり動作パターンに応じて、足部運動、ZMP（Zero Moment Point）軌道、体幹運動、上肢運動、腰部高さなどを設定するとともに、これらの設定内容に従った動作を指示するコマンド（すなわちアクチュエータへの指示データ）を各副制御部35、45、55、65に転送する（ステップS14）。

【0117】この結果、各アクチュエータA<sub>2</sub>、A<sub>3</sub>…は同期的に駆動して、脚式移動ロボット100は起き上がりのための全身協調動作を実行する（ステップS15）。

【0118】転倒している脚式移動ロボット100において必要な起き上がり動作パターンは、当然ながら、転倒している姿勢によって区々であるが、この点は後述で詳解する。

【0119】脚式移動ロボット100が自律駆動型であれば、主制御部80において、転倒の判断、転倒姿勢の判定、起き上がり動作パターンの設定、及び、起き上が

り動作の制御の全てを行う必要がある。但し、脚式移動ロボット100が遠隔操作型であれば、ロボット100の転倒判断、転倒姿勢の判定、起き上がり動作パターンの生成などを外部装置上で処理し、これらの処理に基づいた指示値をLAN（例えばEthernetやBluetooth）などの通信手段を介して受け取って駆動することができる。

【0120】次いで、本実施例に係る脚式移動ロボット100が各種の転倒姿勢から起き上がるための動作手順について詳解する。本実施例では、体幹部に設けられたピッチ軸まわりの可動部すなわちアクチュエータA<sub>5</sub>を活用することによって柔軟な重心移動を可能とし、以って起き上がり動作を実現するという点を充分理解されたい。

【0121】（1）うつ伏せ状態からの起き上がり  
図8～図13には、本実施例に係る脚式移動ロボット100がうつ伏せ状態から起き上がるための一連の動作を図解している。

【0122】図8には、脚式移動ロボット100がうつ伏せの姿勢で床面に転倒した直後の状態を示している。このような転倒状態で、主制御部80は、姿勢センサ93などの各センサ出力を基にして、通常の姿勢を逸脱して転倒に至ったことを検出し又は判定する。

【0123】さらに、主制御部80は、姿勢センサ93の出力により、姿勢センサ取り付け部位における重力方向に対する方向を検出するとともに、各関節自由度における変位角度を測定することによって、脚式移動ロボット100が現在「うつ伏せ」の姿勢で転倒状態にあることを判断することができる。

【0124】図9には、うつ伏せの転倒姿勢において脚式移動ロボット100が起き上がり動作を開始した様子を示している。

【0125】図8に示す転倒状態では、脚式移動ロボット100の重心位置は床面付近の最下位置にある。転倒状態から起き上がり、安定した直立姿勢に復帰するためには、まず重心位置を高い状態に戻す必要がある。図9に示す姿勢例では、腕部及び脚部で全身を支えながら、重心Gを徐々に上方に移動させている。このとき、脚式移動ロボット100は、主に、両肩関節ピッチ軸アクチュエータA<sub>8</sub>、両肘関節ピッチ軸アクチュエータA<sub>11</sub>、体幹部ピッチ軸アクチュエータA<sub>5</sub>、股関節ピッチ軸アクチュエータA<sub>17</sub>、膝部ピッチ軸アクチュエータA<sub>19</sub>、及び足首関節ピッチ軸アクチュエータA<sub>20</sub>の各々を変位させている。

【0126】図10では、主に、両肩関節ピッチ軸アクチュエータA<sub>8</sub>、体幹部ピッチ軸アクチュエータA<sub>5</sub>、股関節ピッチ軸アクチュエータA<sub>17</sub>の変位をさらに大きくすることで、重心Gの位置をさらに上方に持ち上げている。また、腕部による着床部分と脚部による着床部分との距離を徐々に短くしている。同図に示す例では、腕部

の着床部分はその先端（手部）であり、脚部の着床部分は足平先端（つま先）になっているが、これらには特に限定されない。

【0127】図11では、腕部及び脚部各々の着床部分の距離をさらに短くして、この結果、重心Gを足平（すなわち姿勢安定領域）の上方に向かって移動させている。また、腕部の着床部分は、その先端（手先）だけになるとともに、脚部の着床部分は足平足底に移行する。主に、両肩関節ピッチ軸アクチュエータ $A_8$ 、両肘関節ピッチ軸アクチュエータ $A_{11}$ 、体幹部ピッチ軸アクチュエータ $A_5$ 、両股関節ピッチ軸アクチュエータ $A_{17}$ 、及び膝関節ピッチ軸アクチュエータ $A_{19}$ を駆動することにより、図11に示した姿勢から移行する。特に、体幹部ピッチ軸アクチュエータ $A_5$ 及び膝関節ピッチ軸アクチュエータ $A_{19}$ を最大限の変位とし、体幹部及び膝部を可能な限り屈曲させて重心Gと足底までの距離を腕部の長さ以下とすることによって、両膝部を両腕部の間に挿入させることが可能となり、重心移動が円滑に行われる。

【0128】この結果、ZMP（Zero Point Moment）が足平の着床領域内に完全に収容されるので、腕部を床面から離すことが可能となる。〔従来の技術〕の欄で挙げた例では、ロボットが体幹部に自由度を持たないために、腕部と脚部を着床させた姿勢ではZMPを足部着床領域に移動させることが困難であった。本実施例では、体幹部がピッチ軸自由度を備えているので、図11に示すような姿勢が可能となる訳である。

【0129】図12では、腕部の先端を床面から離すとともに、両膝部ピッチ軸アクチュエータ $A_{19}$ を駆動して脚部を伸展することによって、重心Gをさらに上方に持ち上げていく様子を示している。主に、体幹部ピッチ軸アクチュエータ $A_5$ 、両股関節ピッチ軸アクチュエータ $A_{17}$ 、両膝部ピッチ軸アクチュエータ $A_{19}$ 、足首ピッチ軸アクチュエータ $A_{20}$ を変位させている。

【0130】図13では、さらに重心Gを上方に持ち上げて、直立姿勢に近づいていく様子を示している。主に、体幹部ピッチ軸アクチュエータ $A_5$ 、両股関節ピッチ軸アクチュエータ $A_{17}$ 、両膝関節ピッチ軸アクチュエータ $A_{19}$ 、両足首関節ピッチ軸アクチュエータ $A_{20}$ を変位させている。

【0131】以上、図8～図13を用いて説明したように、本実施例に係る脚式移動ロボット100によれば、うつ伏せの転倒姿勢から自律的に（すなわち外部からの物理的な支援なしに）起き上がることができる。起き上がり動作において、体幹部ピッチ軸の変位が重要な要素である、という点に充分留意されたい。

【0132】（2）仰向け状態からの起き上がり  
図14～図20には、本実施例に係る脚式移動ロボット100が仰向け状態から起き上がるための一連の動作を図解している。

【0133】図14には、脚式移動ロボット100が仰向けの姿勢で床面に転倒した直後の状態を示している。このような転倒状態で、主制御部80は、姿勢センサ93などの各センサ出力を基にして、通常の姿勢を逸脱して転倒に至ったことを検出し又は判定する。

【0134】図15では、転倒後、転倒姿勢を判断した脚式移動ロボット100が、仰向け姿勢からの起き上がり動作を開始した様子を示している。すなわち、主に両股関節ピッチ軸アクチュエータ $A_{17}$ を変位させて、相対的に上体を起こし、腰部によって着床するような姿勢を形成する。さらに、両肩関節ピッチ軸アクチュエータ $A_8$ を駆動させて、両腕部によって着床する準備を行う。

【0135】図16では、腰部が着床した状態でさらに脚部を変位させる様子を示している。より具体的には、両股関節ピッチ軸アクチュエータ $A_{17}$ 、両膝部ピッチ軸アクチュエータ $A_{19}$ 、両足首ピッチ軸アクチュエータ $A_{20}$ を動作させて、両足平の足底で着床する姿勢の準備を行う。

【0136】図17では、さらに、体幹ピッチ軸アクチュエータ $A_5$ を変位させると同時に、腕部と脚部各々の着床部分の距離を短くしていく。この結果、脚式移動ロボットの重心Gが上方に持ちあがり始めるとともに、ZMPが次第に脚部に向かって移動し始める。

【0137】図18では、さらに、腕部と脚部それぞれの着床部分の距離を短くすることで、ZMPを足部に寄せていく。さらに、両膝関節ピッチ軸アクチュエータ $A_{19}$ を駆動させて重心Gを持ち上げる。この結果、ZMPが足底着床領域内に突入するので、腕部と腰部を床面から離すことが可能となる。

【0138】本実施例に係る脚式移動ロボット100によれば、体幹が最大限に屈曲して前傾した姿勢を形成することにより、ZMPを足部に寄せ足底着床領域内に移行させることができる。すなわち、体幹部ピッチ軸アクチュエータ $A_5$ まわりの可動部を活用することで、腕部と腰部を離床させることができるという点を充分理解されたい。

【0139】図19では、腕部を離床させた後、伸展した姿勢を形成することによって、重心Gの位置をさらに持ち上げる。このとき、主に、両足首関節ピッチ軸アクチュエータ $A_{20}$ 、両膝関節ピッチ軸アクチュエータ $A_{19}$ 、両股関節ピッチ軸アクチュエータ $A_{17}$ 、体幹関節ピッチ軸アクチュエータ $A_5$ を駆動させる。

【0140】図20では、さらに脚部を伸展させることで重心Gを上方に持ち上げて、直立姿勢に近づいていく様子を示している。主に、体幹部ピッチ軸アクチュエータ $A_5$ 、両股関節ピッチ軸アクチュエータ $A_{17}$ 、両膝関節ピッチ軸アクチュエータ $A_{19}$ 、両足首関節ピッチ軸アクチュエータ $A_{20}$ を変位させている。

【0141】仰向けという姿勢は、一般には、脚式移動ロボットが起き上がりにくい転倒状態の1つである。本

実施例に係る脚式移動ロボット 100 によれば、体幹部のピッチ軸まわりの可動部を利用することにより、図 15～図 20 に示す一連の動作パターンに従って、円滑に起き上がることができる。すなわち、体幹部に 1 以上の可動自由度を設けることにより、転倒姿勢からの起き上がり動作が可能となり又は容易化する。

【0142】なお、仰向け姿勢からの起き上がり動作は、上述したような体前面方向へ起き上がる動作パターン以外にも、さらに横転して姿勢を変えてから起き上がる動作パターンが想到される。後者に関しては後に詳解する。

【0143】(3) 横転状態からの起き上がり  
脚式移動ロボット 100 が横転した姿勢から直接起き上がることが困難であっても、例えば、横転姿勢からうつ伏せ又は仰向けなど起き上がり動作が可能な状態に一旦変換することによって、上述したいずれかの動作パターンに従って転倒状態から直立状態まで復帰することが可能である。ここでは、横転状態からうつ伏せ状態に自律的に変換するための動作手順について説明する。本明細書で扱う横転状態は左右対称であると理解されたい（以下同様）。

【0144】図 21～図 26 には、本実施例に係る脚式移動ロボット 100 が横転状態から起き上がるための動作パターンの一例を図解している。この起き上がり動作パターンは、基本的には、体幹部ヨー軸まわりの可動部を利用することで転倒姿勢をうつ伏せ状態に変化させるものである。

【0145】図 21 には、脚式移動ロボット 100 が横転姿勢で床面に転倒した直後の状態を示している。このような転倒状態で、主制御部 80 は、姿勢センサ 93 などの各センサ出力を基にして、通常の姿勢を逸脱して転倒に至ったことを検出し又は判定する。

【0146】図 22 では、自身が横転していると判断した脚式移動ロボット 100 が、うつ伏せ姿勢に移行するための動作パターンを開始した様子を示している。より具体的には、左肩関節のピッチ軸アクチュエータ  $A_6$  等を変位させて、左腕部を体前面側に移動させて、重心  $G$  の変位を試みている。

【0147】図 23 では、体幹部ヨー軸アクチュエータ  $A_7$  を回転させて、上体をうつ伏せの姿勢に近付けている。また、同時に左股関節ピッチ軸アクチュエータ  $A_{17}$  を変位させて、左腕部全体を体前面側に移動させて、重心  $G$  を紙面手前側に移動させている。

【0148】図 24 では、体幹部ヨー軸アクチュエータ  $A_7$  と左股関節ピッチ軸アクチュエータ  $A_{17}$  の回転を継続させた結果として、左腕部が着床し、さらにうつ伏せの姿勢に近付いている。

【0149】図 25 では、体幹部ヨー軸アクチュエータ  $A_7$  と左股関節ピッチ軸アクチュエータ  $A_{17}$  の回転を継続させた結果として重心  $G$  が安定を失う。この結果、脚

式移動ロボット 100 の体全体が紙面手前側に倒れ込み、左脚部が着床する。上体のうつ伏せ姿勢への移行は相当程度進行している。

【0150】図 26 では、体幹部ヨー軸アクチュエータ  $A_7$  と左股関節ピッチ軸アクチュエータ  $A_{17}$  の回転を継続させた結果として、脚式移動ロボット 100 がうつ伏せ姿勢に完全に移行している。この姿勢からは、例えば図 8～図 13 を参照しながら既に説明したような動作パターンに従って、脚式移動ロボット 100 は自律的に（すなわち外部からの物理的な補助なしに）起き上がることができる。

【0151】図 21～図 26 を参照しながら説明した例では、主に体幹ヨー軸アクチュエータ  $A_7$  の駆動を利用してうつ伏せ姿勢に移行する動作パターンを説明してきた。これ以外にも、体幹ロール軸アクチュエータ  $A_8$  の駆動をさらに利用する（より具体的には、体幹ヨー軸の前に体幹ロール軸を変位させる）ことによって、より円滑な姿勢移行を実現することができる。体幹ロール軸アクチュエータ  $A_8$  及び体幹ヨー軸アクチュエータ  $A_7$  を併用して横転状態からうつ伏せ姿勢に移行する動作パターンについて、図 27 及び図 28 を参照しながら説明しておく。

【0152】図 27 では、体幹ロール軸を回転させることで、脚部のみで着床している姿勢を形成する。このような姿勢では、右肩部での接地反力が軽減され、上体を離床させることができる。

【0153】図 28 では、次いで体幹ヨー軸アクチュエータ  $A_7$  を回転させる。体幹ロール軸アクチュエータ  $A_8$  を既に変位させているので、体幹ヨー軸アクチュエータ  $A_7$  の駆動に要するトルクが軽減される。また、脚式移動ロボット 100 全体の姿勢変化も少なくすることができる。この結果、横転姿勢からうつ伏せ姿勢に移行するために消耗するエネルギーすなわちバッテリー容量を節約することができる。

【0154】上述したような 2 通りの動作パターンを適用することによって、脚式移動ロボット 100 を横転状態からうつ伏せ姿勢を形成することができる。図 8 に示すようなうつ伏せ状態を一旦形成することができれば、上述したように図 9～図 13 に示すような一連の起き上がり動作パターンに従い、脚式移動ロボット 100 は自律的に（すなわち物理的な補助なしに）直立状態まで復帰することができる。

【0155】なお、腕部、足部等が自由に動作することができる状態であれば、それら動作の合力の反力を用いて、体幹部ヨー軸まわりの高速な動作を生み出すことができる。しかしながら、一般的な脚式移動ロボットが転倒した状態を想定すると、このような「弾み」を用いるような手法は確実性に乏しく、また、移動速度を制御しにくいいため、ロボット自身の保全や周囲環境への悪影響も懸念される。転倒という正常を逸脱した状態であるこ

10

20

30

40

50



とも勘案すると、上述したような低速であるが確実に姿勢を変化させていく動作パターンがより好ましいと思料する。

【0156】(4) 仰向け状態からの起き上がり

図29～図34には、本実施例に係る脚式移動ロボット100が仰向け状態から起き上がる動作の他の例を図解している。図14～図20を参照しながら説明した上述の例では、脚式移動ロボット100が体前面方向に向かって起き上がる動作パターンを紹介したが、ここでは、仰向けの姿勢から一旦横転して他の姿勢に移行してから起き上がる動作パターンについて説明する。

【0157】図29には、脚式移動ロボット100が仰向けの姿勢で床面に転倒した直後の状態を示している。このような転倒状態で、主制御部80は、姿勢センサ93などの各センサ出力を基にして、通常の姿勢を逸脱して転倒に至ったことを検出し又は判定する。この例では、さらに、一旦横転姿勢に移行し、さらにうつ伏せ姿勢に移行してから起き上がる動作パターンを選択したものとす。

【0158】図30では、両足部と背面部が着床した状態のままで、両股関節ヨー軸アクチュエータ $A_{1i}$ を回転させることで、相対的に上体部を回転したい方向に捻る。同時に、右肩関節のピッチ軸アクチュエータ $A_5$ を回転させることで、上体部と床面との干渉を避け、また、左肩関節のピッチ軸アクチュエータ $A_6$ を回転させることで、該捻り方向への重心移動を促進している。

【0159】図31では、左足部を着床させたままの状態、右股関節ヨー軸アクチュエータ $A_{1i}$ を回転させて、右脚部全体をさらに該捻り方向に回転させる。また、同時に左肩関節ピッチ軸アクチュエータ $A_5$ と体幹部ヨー軸アクチュエータ $A_7$ を回転させることで、重心を所定方向に移動させる。

【0160】図32では、さらに、体幹部ヨー軸アクチュエータ $A_7$ を回転させて、上体部の回転をほぼ終了し、同時に右腕部での着床を確保する。

【0161】図33では、主に右股関節ヨー軸アクチュエータ $A_{1i}$ を回転させて、腰部を所定の回転方向に捻ることで、捻り運動の円滑化を図る。

【0162】図34では、ほぼ横転姿勢への移行が完了した状態を示している。体幹部ロール軸アクチュエータ $A_8$ をさらに回転させることで、捻り運動を促進することができ、さらに横転姿勢からうつ伏せ姿勢へと円滑に移行させることができる。

【0163】仰向け姿勢から横転姿勢へ、さらに横転姿勢からうつ伏せ姿勢へ移行する動作パターンをサポートすることにより、脚式移動ロボット100は、うつ伏せ状態からの起き上がり動作を持つだけで、任意の転倒状態から自律的に起き上がることが可能となる。

【0164】なお、図34から始まり図29で終わるような上述とは逆向きの動作パターンを実行することによ

り、図21に示すような横転した状態から図29に示すような仰向けの状態に移行することも可能である。

【0165】また、仰向け状態から横転状態へ、横転状態からうつ伏せ状態へ、という姿勢の移行を繰り返し実行することにより、脚式移動ロボット100は、転倒したままの状態でも床面すなわち平面上の移動を行うことも可能である。例えば、転倒した弾みで上部に障害物がある（あるいは天井が低い場所）に入り込んでしまったような場合であっても、転倒状態でかかる平面的な移動を行うことにより、上部に障害物がない場所まで移動することができる。

【0166】〔追補〕以上、特定の実施例を参照しながら、本発明について詳解してきた。しかしながら、本発明の要旨を逸脱しない範囲で当業者が該実施例の修正や代用を成し得ることは自明である。

【0167】本明細書中では、2足による脚式移動を行う脚式移動ロボット100についての転倒時の起き上がり動作の代表例を説明してきたが、起き上がりの動作パターンは、添付図面に示したものには限定されない。機体の性能や状態、あるいは周囲の状態・環境などによって望ましい起き上がり動作パターンは変動し得ると理解されたい。

【0168】要するに、例示という形態で本発明を開示してきたのであり、限定的に解釈されるべきではない。本発明の要旨を判断するためには、冒頭に記載した特許請求の範囲の欄を参照すべきである。

【0169】なお、本発明の要旨を判断する上で、2足歩行の脚式移動ロボット100についての関節等の呼び名は、図3を厳格に適用するのは妥当ではなく、現実のヒトやサルなどの2足直立歩行動物の身体メカニズムとの対比により柔軟に解釈されたい。

【0170】参考のため、脚式移動ロボットの関節モデル構成を図49に図解しておく。同図に示す例では、肩関節5から上腕、肘関節6、前腕、手首7及び手部8からなる部分を「上肢」と呼ぶ。また、肩関節5から股関節11までの範囲を「体幹部」と呼び、ヒトの胴体に相当する。また、体幹部のうち特に股関節11から体幹関節10までの範囲を「腰部」と呼ぶ。体幹関節10は、ヒトの背骨が持つ自由度を表現する作用を有する。また、股関節11より下の大腿部12、膝関節14、下腿部13、足首15及び足部16からなる部分を「下肢」と呼ぶ。一般には、股関節より上方を「上体」と呼び、それより下方を「下体」と呼ぶ。

【0171】なお、図49で用いた参照番号は、図5など本明細書中で参照されたその他の図面とは一致しない点を理解されたい。

【0172】

【発明の効果】以上詳記したように、本発明によれば、歩行動作など作業の最中に転倒してしまった場合であっても自力で起き上がることができる、優れた脚式移動型



ロボット及びその制御メカニズムを提供することができる。

【0173】また、本発明によれば、転倒してしまい様々な姿勢若しくは格好で横たわっている場合であっても自律的に起き上がり、転倒により中断した作業を自動的に再開することができる、優れた脚式移動型ロボット及びその制御方法メカニズムを提供することができる。

【0174】また、本発明によれば、うつ伏せ、仰向け、横向きなど様々な転倒姿勢からも自律的に確実に円滑に起き上がることができる、優れた脚式移動型ロボット及びその制御メカニズムを提供することができる。

【0175】本発明により、脚式移動ロボットの転倒姿勢からの復帰すなわち起き上がり動作が容易になる。また、起き上がり動作時における体幹部以外の可動部への負担や要求トルクが軽減される。また、荷重負担を各可動部間で分散・平均化することで、特定部位への集中荷重を回避することができる。この結果、ロボット運用の信頼性を向上するとともに、起き上がり動作期間中のエネルギー効率が増大する。

【0176】また、本発明に係る脚式移動ロボットによれば、複数の転倒姿勢を順次移行させることにより、より容易な起き上がり動作を選択的に実行することができる。

【0177】また、本発明に係る脚式移動ロボットによれば、複数の転倒姿勢を順次繰り返すことにより、起き上がることなく平面的な移動を実現することができる。この結果、より容易に立ち上がることができる場所まで移動してから起き上がり動作を実行することができる。

【0178】また、本発明に係る脚式移動ロボットによれば、転倒姿勢を変化させることができるので、サポートしなければならない起き上がり動作パターンの種類や数を低減することができる。

【0179】例えば、ロボットがあらかじめ起き上がり動作パターンを用意しておくような場合、動作パターン数の減少により開発期間の短縮や開発コストの軽減が可能となる。また、動作パターン数の減少により、ハードウェアの負担も軽減されるので、その分システムの向上が見込まれる。

【0180】また、ロボットが状況に応じた動作パターンを自律的に生成するような場合には、生成すべき動作パターン数が減少することにより、ロボット自体に搭載すべき演算装置の負担が軽減され、装置製作コストの削減や、ロボット運転時における信頼性の向上などが見込まれる。

【0181】また、本発明に係る脚式移動ロボットによれば、転倒姿勢を変化させることで起き上がり動作パターンを限定することができる。この結果、起き上がり動作のために必要な各アクチュエータの出力トルクや動作範囲などへの要求が軽減される。この結果、設計の自由度が増大するとともに、開発期間の短縮や製作コストの

削減などを実現することができる。

【0182】また、転倒姿勢を変化させることで起き上がり方法を限定することができるので、起き上がり動作期間中におけるロボットの消費電力を節約し、バッテリーなどの供給電源への負荷を少なくすることができる。この結果、バッテリー駆動時間が延長し、1回の充電でより長時間の連続運転が可能となり、ロボットの作業時間、作業空間、作業内容等が拡大する。また、必要な場って利用料も低減するので、バッテリーの小型・軽量化が可能となり、設計の自由度が増大する。また、バッテリーの要求しようが軽減するので、バッテリー単価を安価に抑え、システム全体の製作コストや運転コストを節約することができる。

【図面の簡単な説明】

【図1】本発明の実施に供される脚式移動ロボット100を前方から眺望した様子を示した図である。

【図2】本発明の実施に供される脚式移動ロボット100を後方から眺望した様子を示した図である。

【図3】脚式移動ロボット100の体幹部の構成を拡大して描いた図（前方斜視図）である。

【図4】脚式移動ロボット100の体幹部の構成を拡大して描いた図（後方斜視図）である。

【図5】本実施例に係る脚式移動ロボット100が具備する自由度構成モデルを模式的に示した図である。

【図6】本実施例に係る脚式移動ロボット100の制御システム構成を模式的に示した図である。

【図7】脚式移動ロボット100の転倒時における動作手順を概略的に示したフローチャートである。

【図8】脚式移動ロボット100がうつ伏せ状態から起き上がるための一連の動作を示した図であり、より具体的には、脚式移動ロボット100がうつ伏せの姿勢で床面に転倒した直後の状態を描写した図である。

【図9】脚式移動ロボット100がうつ伏せ状態から起き上がるための一連の動作を描写した図であり、より具体的には、うつ伏せの転倒姿勢において脚式移動ロボット100が起き上がり動作を開始した様子を描した図である。

【図10】脚式移動ロボット100がうつ伏せ状態から起き上がるための一連の動作を描写した図であり、より具体的には、両肩関節ピッチ軸アクチュエータ $A_5$ 、体幹部ピッチ軸アクチュエータ $A_6$ 、股関節ピッチ軸アクチュエータ $A_{17}$ の各変位をさらに大きくすることで、重心位置をさらに上方に持ち上げている様子を描した図である。

【図11】脚式移動ロボット100がうつ伏せ状態から起き上がるための一連の動作を描写した図であり、より具体的には、腕部及び脚部各々の着床部分の距離をさらに短くして、この結果、重心Gを足平の上方すなわち姿勢安定領域内に完全に収容させていく様子を描した図である。

【図 12】脚式移動ロボット 100 がうつ伏せ状態から起き上がるための一連の動作を描写した図であり、より具体的には、腕部の先端を床面から離すとともに、両膝部ピッチ軸アクチュエータ  $A_{19}$  を駆動して脚部を伸展することによって、重心  $G$  をさらに上方に持ち上げていく様子を描写した図である。

【図 13】脚式移動ロボット 100 がうつ伏せ状態から起き上がるための一連の動作を描写した図であり、より具体的には、さらに重心  $G$  を上方に持ち上げて、直立姿勢に近づいていく様子を示した図である。

【図 14】脚式移動ロボット 100 が仰向け状態から起き上がるための一連の動作を示した図であり、より具体的には、脚式移動ロボット 100 が仰向けの姿勢で床面に転倒した直後の状態を描写した図である。

【図 15】脚式移動ロボット 100 が仰向け状態から起き上がるための一連の動作を示した図であり、より具体的には、転倒後、転倒姿勢を判断した脚式移動ロボット 100 が、仰向け姿勢からの起き上がり動作を開始した様子を描写した図である。

【図 16】脚式移動ロボット 100 が仰向け状態から起き上がるための一連の動作を示した図であり、より具体的には、腰部が着床した状態でさらに両股関節ピッチ軸アクチュエータ  $A_{17}$ 、両膝部ピッチ軸アクチュエータ  $A_{19}$ 、両足首ピッチ軸アクチュエータ  $A_{20}$  を動作させて、両足平の足底で着床する姿勢の準備を行う様子を描写した図である。

【図 17】脚式移動ロボット 100 が仰向け状態から起き上がるための一連の動作を示した図であり、より具体的には、体幹ピッチ軸アクチュエータ  $A_5$  を変位させると同時に、腕部と脚部各々の着床部分の距離を短くしていくことで、重心  $G$  の位置を上方に持ち上げていく様子を描写した図である。

【図 18】脚式移動ロボット 100 が仰向け状態から起き上がるための一連の動作を示した図であり、より具体的には、腕部と脚部各々の着床部分の距離を短くすることで、ZMP を極力足部に寄せて、腕部と腰部を離床させる様子を描写した図である。

【図 19】脚式移動ロボット 100 が仰向け状態から起き上がるための一連の動作を示した図であり、より具体的には、伸展した姿勢を形成することによって、重心  $G$  の位置をさらに持ち上げる様子を描写した図である。

【図 20】脚式移動ロボット 100 が仰向け状態から起き上がるための一連の動作を示した図であり、より具体的には、さらに脚部を伸展させることで重心  $G$  を上方に持ち上げて、直立姿勢に近づいていく様子を描写した図である。

【図 21】脚式移動ロボット 100 が横転状態から起き上がるための動作パターンの一例を示した図であり、より具体的には、脚式移動ロボット 100 が横転した姿勢で床面に転倒した直後の状態を描写した図である。

【図 22】脚式移動ロボット 100 が横転状態から起き上がるための動作パターンの一例を示した図であり、より具体的には、横転していると判断した脚式移動ロボット 100 が、うつ伏せ姿勢に移行するための動作パターンを開始した様子を描写した図である。

【図 23】脚式移動ロボット 100 が横転状態から起き上がるための動作パターンの一例を示した図であり、より具体的には、体幹部ヨー軸アクチュエータ  $A_7$  を回転させて、上体をうつ伏せの姿勢に近付けている様子を描写した図である。

【図 24】脚式移動ロボット 100 が横転状態から起き上がるための動作パターンの一例を示した図であり、より具体的には、左腕部が着床して、さらにうつ伏せの姿勢に近付けている様子を描写した図である。

【図 25】脚式移動ロボット 100 が横転状態から起き上がるための動作パターンの一例を示した図であり、より具体的には、体幹部ヨー軸アクチュエータ  $A_7$  と左股関節ピッチ軸アクチュエータ  $A_{17}$  の回転を継続させた結果として脚式移動ロボット 100 の体全体が紙面手前側に倒れ込み、左脚部が着床する様子を描写した図である。

【図 26】脚式移動ロボット 100 が横転状態から起き上がるための動作パターンの一例を示した図であり、より具体的には、体幹部ヨー軸アクチュエータ  $A_7$  と左股関節ピッチ軸アクチュエータ  $A_{17}$  の回転を継続させた結果としてうつ伏せ姿勢に完全に移行した様子を描写した図である。

【図 27】脚式移動ロボット 100 が横転状態から起き上がるための動作パターンの一例を示した図であり、より具体的には、体幹部ヨー軸アクチュエータ  $A_7$  及び体幹ロール軸アクチュエータ  $A_6$  の駆動を併用することで、横転状態からうつ伏せ姿勢に円滑に移行する様子を描写した図である。

【図 28】脚式移動ロボット 100 が横転状態から起き上がるための動作パターンの一例を示した図であり、より具体的には、体幹部ヨー軸アクチュエータ  $A_7$  及び体幹ロール軸アクチュエータ  $A_6$  の駆動を併用することで、横転状態からうつ伏せ姿勢に円滑に移行する様子を描写した図である。

【図 29】脚式移動ロボット 100 が仰向け状態から起き上がる動作パターン他の例を示した図であり、より具体的には、脚式移動ロボット 100 が仰向けの姿勢で床面に転倒した直後の状態を描写した図である。

【図 30】脚式移動 100 が仰向け状態から起き上がる動作パターン他の例を示した図であり、より具体的には、両股関節ヨー軸アクチュエータ  $A_{17}$  を回転させることで、相対的に上体部を回転したい方向に捻るとともに、左右各関節のピッチ軸の回転により捻り方向へ重心を移動させている様子を描写した図である。

【図 31】脚式移動ロボット 100 が仰向け状態から起

き上がる動作パターンの中の例を示した図であり、より具体的には、右股関節ヨー軸アクチュエータ $A_1$ を回転させて、右脚部全体をさらに該捻り方向に回転させるとともに、右股関節ヨー軸アクチュエータ $A_1$ を回転させて、右脚部全体をさらに該捻り方向に回転させる様子を描写した図である。

【図32】脚式移動ロボット100が仰向け状態から起き上がる動作パターンの中の例を示した図であり、より具体的には、体幹部ヨー軸アクチュエータ $A_7$ を回転させて右腕部での着床を確保する様子を描写した図である。

【図33】脚式移動ロボット100が仰向け状態から起き上がる動作パターンの中の例を示した図であり、より具体的には、主に右股関節ヨー軸アクチュエータ $A_1$ を回転させて、腰部を所定の回転方向に捻ること、捻り運動の円滑化を図る様子を描写した図である。

【図34】脚式移動ロボット100が仰向け状態から起き上がる動作パターンの中の例を示した図であり、より具体的には、脚式移動ロボット100がほぼ横転姿勢への移行が完了した状態を描写した図である。

【図35】2足による直立歩行を行う脚式移動ロボット（従来例）の外観構成を示した図である。

【図36】図35に示した脚式移動ロボットが直立している様子を描写した図（従来例）である。

【図37】図35に示した脚式移動ロボットが歩行を行う様子を描写した図（従来例）であり、より具体的には左右の脚を交互に立脚と遊脚に切り替える様子を描いた図である。

【図38】図35に示した脚式移動ロボットがうつ伏せ姿勢で転倒した状態を示した図（従来例）である。

【図39】図35に示した脚式移動ロボットがうつ伏せ姿勢で転倒した状態から起き上がる動作パターンを示した図であり、より具体的には、着床中の腕部及び脚部の相対的距離を近付けることにより、ロボットの重心を持ち上げていく様子を示した図（従来例）である。

【図40】図35に示した脚式移動ロボットがうつ伏せ姿勢で転倒した状態から起き上がる動作パターンを示した図であり、より具体的には、ロボットの重心を持ち上げていく最中に足部を前方に移動させる様子を示した図（従来例）である。

【図41】図35に示した脚式移動ロボットがうつ伏せ姿勢で転倒した状態から起き上がる動作パターンを示した図であり、より具体的には、脚式移動ロボットのZMPを姿勢安定領域内に移動させて、腕部を離床させる様子を示した図（従来例）である。

【図42】図35に示した脚式移動ロボットがうつ伏せ姿勢で転倒した状態から起き上がる動作パターンを示した図であり、より具体的には、脚式移動ロボットが腕部を離床させた後、さらに脚部を伸展させて起き上がり動作が完結する様子を示した図（従来例）である。

【図43】図35に示した脚式移動ロボットが仰向け姿勢で転倒した状態を示した図（従来例）である。

【図44】図35に示した脚式移動ロボットが仰向け姿勢で転倒した状態から起き上がる動作パターンを示した図であり、より具体的には、脚部と腕部で床面に接地する姿勢をとることで、重心を上方に持ち上げる様子を示した図（従来例）である。

【図45】図35に示した脚式移動ロボットが仰向け姿勢で転倒した状態から起き上がる動作パターンを示した図であり、より具体的には、脚式移動ロボットが着床している足部と腕部との相対的距離を徐々に小さくしていく様子を示した図（従来例）である。

【図46】図35に示した脚式移動ロボットが仰向け姿勢で転倒した状態から起き上がる動作パターンを示した図であり、より具体的には、脚式移動ロボットの重心位置を足部着床領域上空まで移動する様子を示した図（従来例）である。

【図47】図35に示した脚式移動ロボットが仰向け姿勢で転倒した状態から起き上がる動作パターンを示した図であり、より具体的には、脚式移動ロボットが腕部を離床させた後、さらに脚部を伸展させて起き上がり動作が完結する様子を示した図（従来例）である。

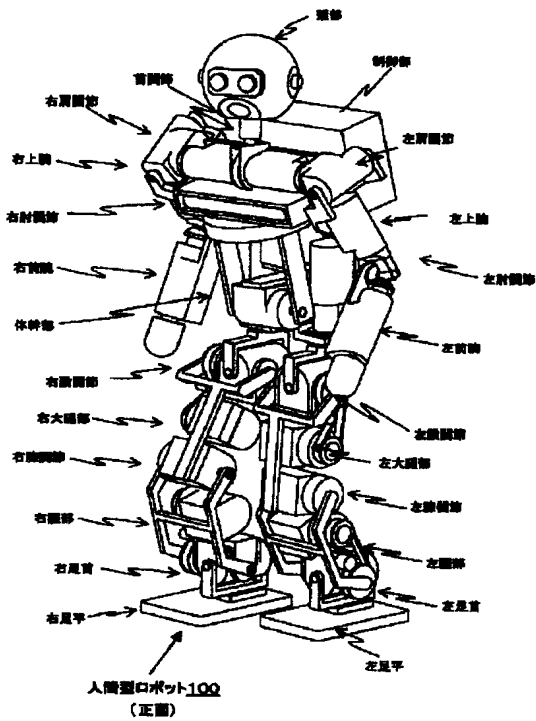
【図48】脚式移動ロボットが仰向け姿勢からの起き上がる途中で動作進行が不能になった様子を示した図（従来例）である。

【図49】脚式移動ロボットについての関節モデル構成の一例を模式的に示した図である。

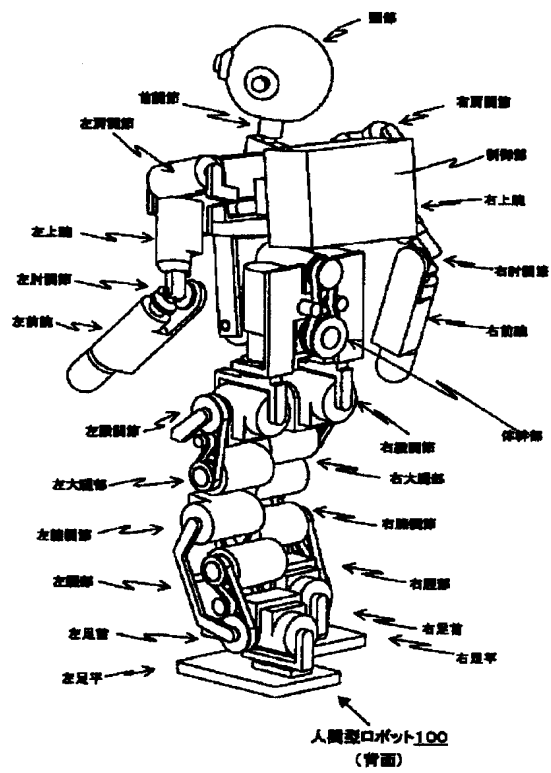
【符号の説明】

- 1…頭部、2…首関節ヨー軸
- 3…首関節ピッチ軸、4…首関節ロール軸
- 5…体幹ピッチ軸、6…体幹ロール軸
- 7…体幹ヨー軸、8…肩関節ピッチ軸
- 9…肩関節ロール軸、10…上腕ヨー軸
- 11…肘関節ピッチ軸、12…前腕ヨー軸
- 13…手首関節ピッチ軸、14…手首関節ロール軸
- 15…手部、16…股関節ヨー軸
- 17…股関節ピッチ軸、18…股関節ロール軸
- 19…膝関節ピッチ軸、20…足首関節ピッチ軸
- 21…足首関節ロール軸、22…足部（足底）
- 30…頭部ユニット、40…体幹部ユニット
- 50…腕部ユニット、51…上腕ユニット
- 52…肘関節ユニット、53…前腕ユニット
- 60…脚部ユニット、61…大腿部ユニット
- 62…膝関節ユニット、63…脛部ユニット
- 80…制御ユニット、81…主制御部
- 82…周辺回路
- 91、92…接地確認センサ
- 93…姿勢センサ
- 100…脚式移動ロボット

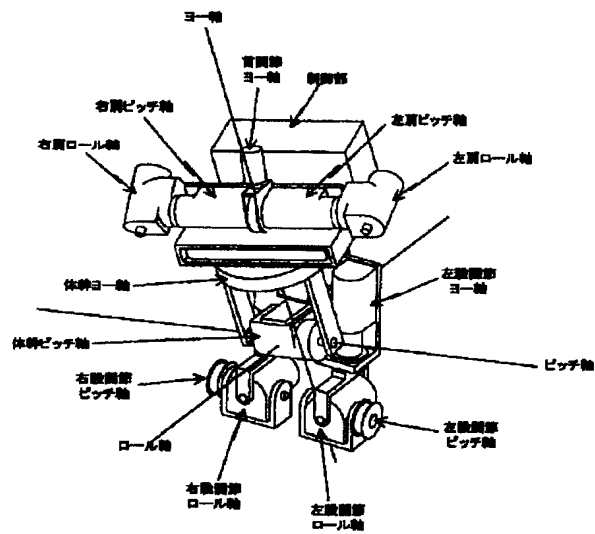
【図1】



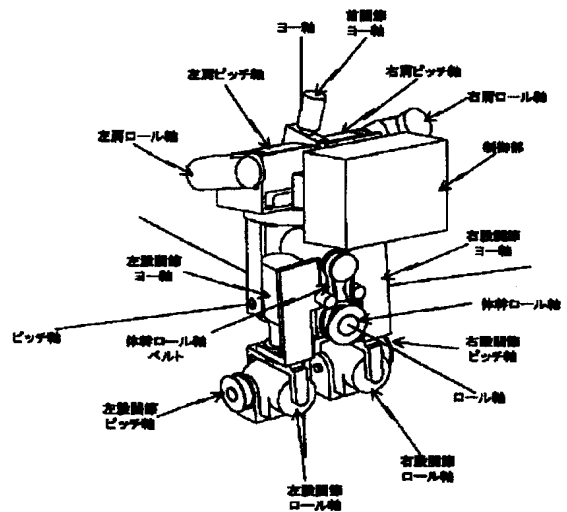
【図2】



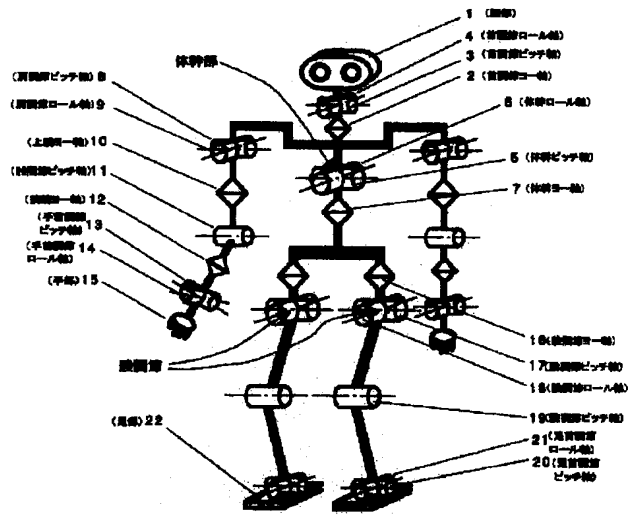
【図3】



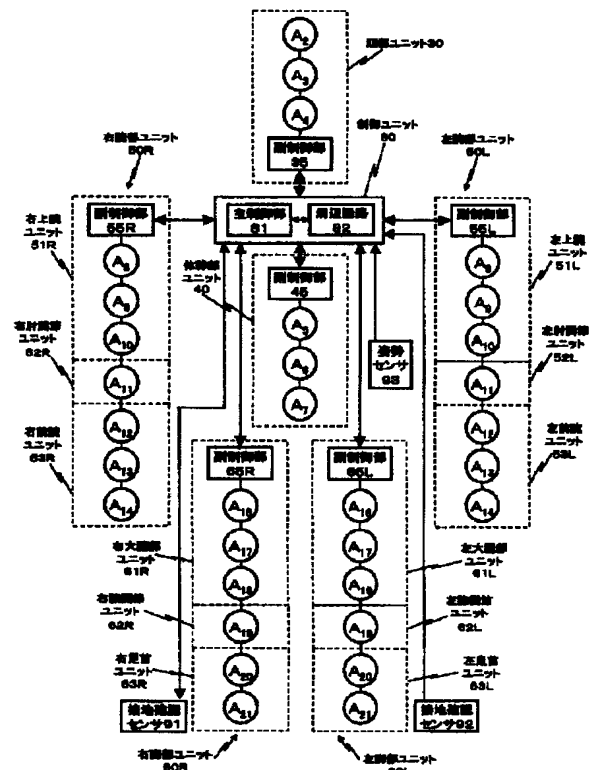
【図4】



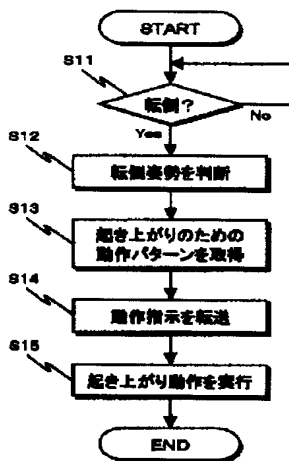
【図5】



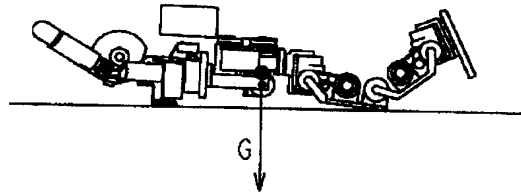
【図6】



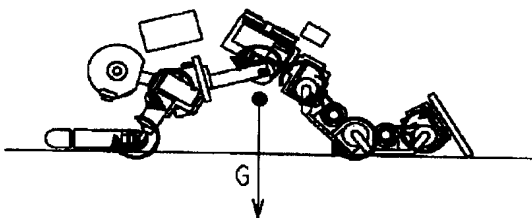
【図7】



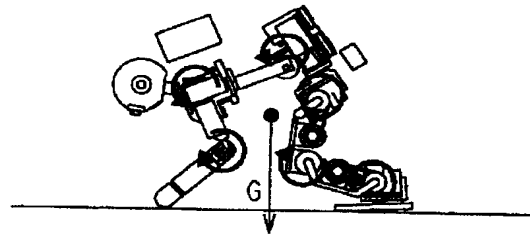
【図8】



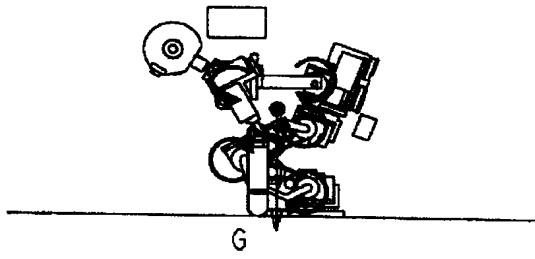
【図9】



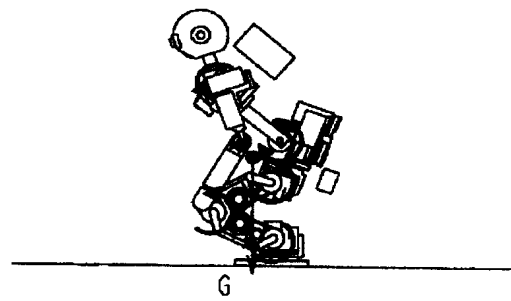
【図10】



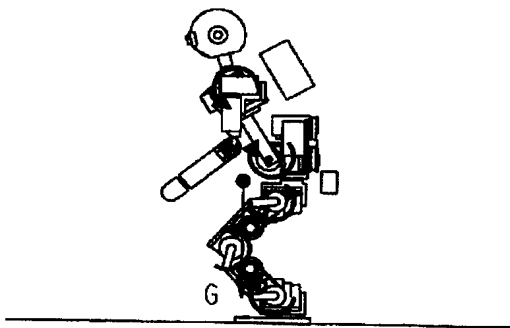
【図11】



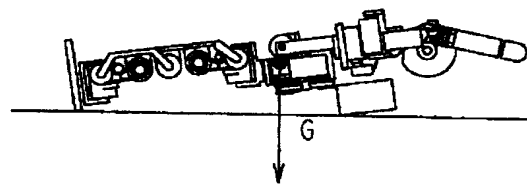
【図12】



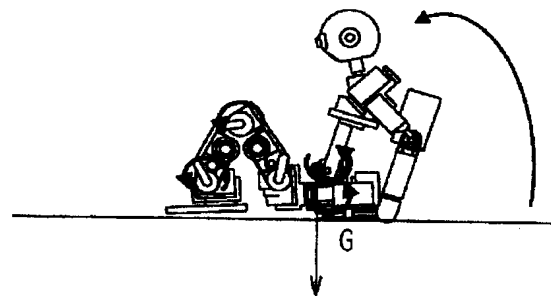
【図13】



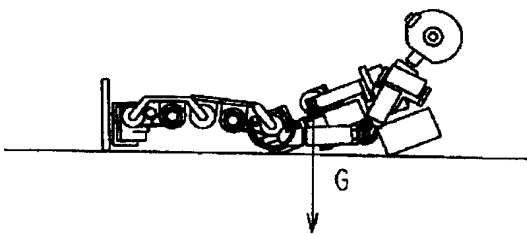
【図14】



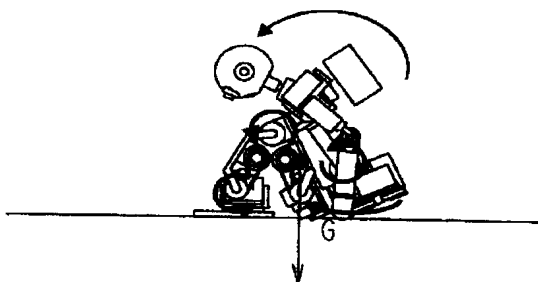
【図16】



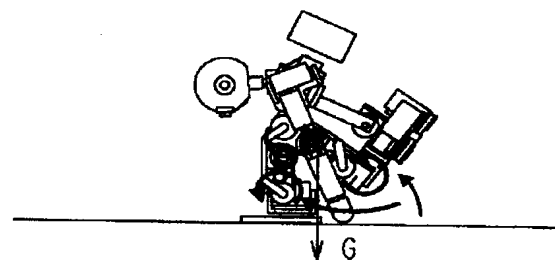
【図15】



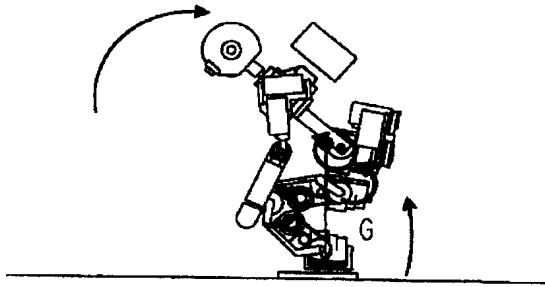
【図17】



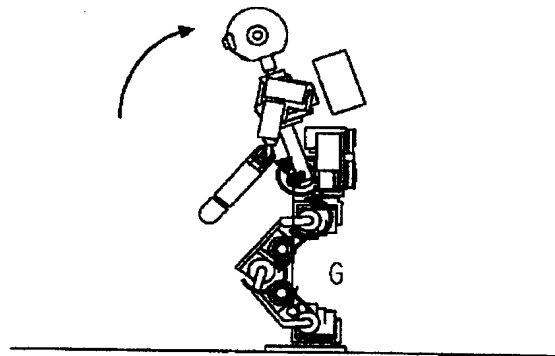
【図18】



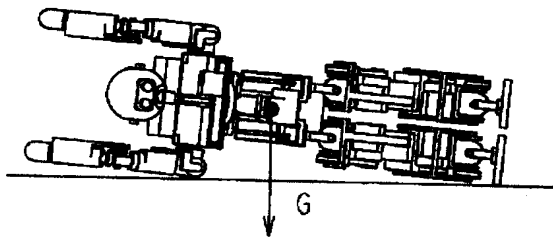
【図19】



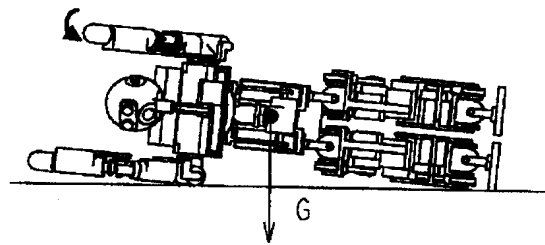
【図20】



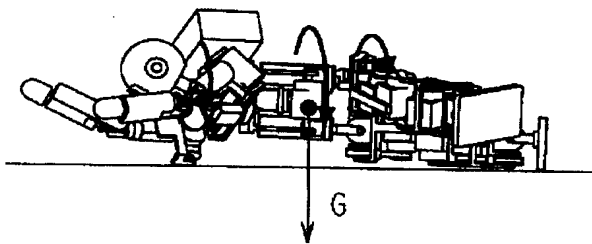
【図21】



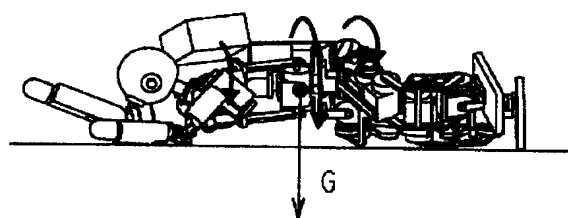
【図22】



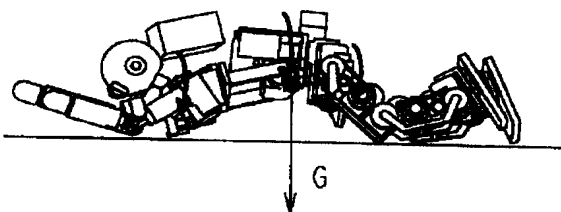
【図23】



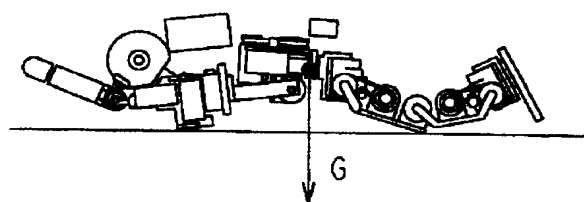
【図24】



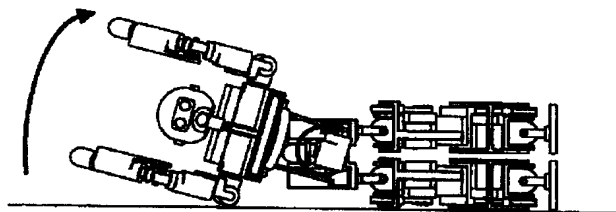
【図25】



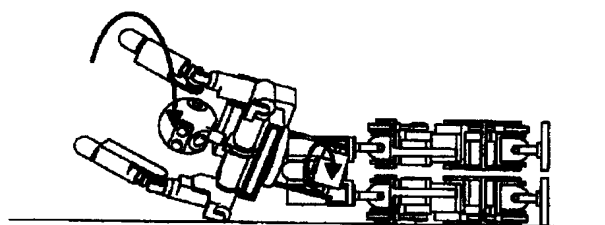
【図26】



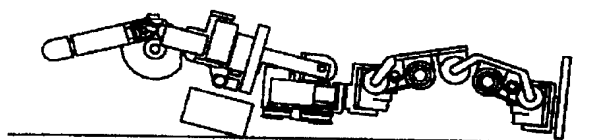
【図27】



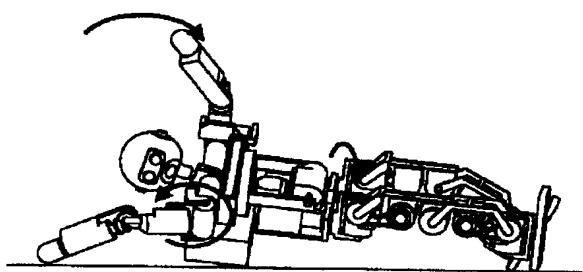
【図28】



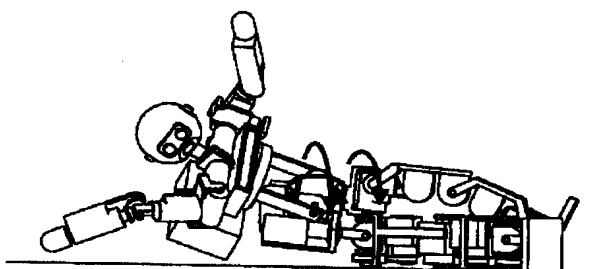
【図29】



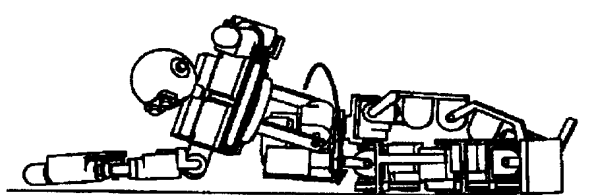
【図30】



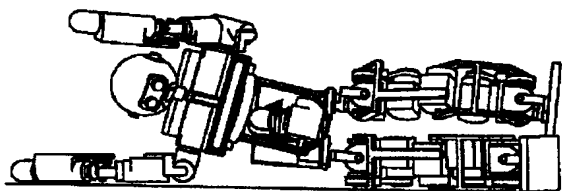
【図31】



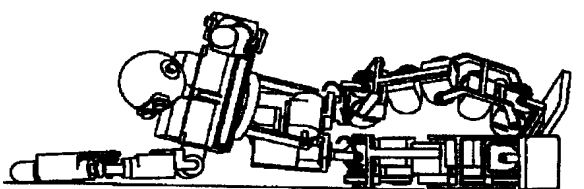
【図32】



【図34】

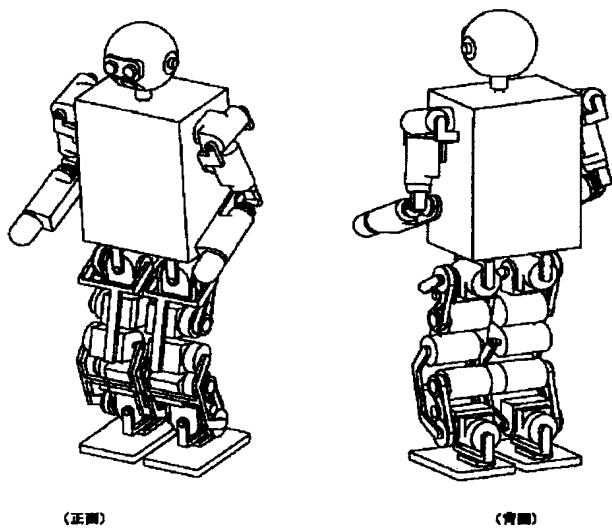


【図33】





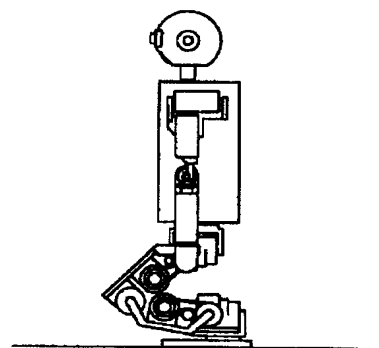
【図35】



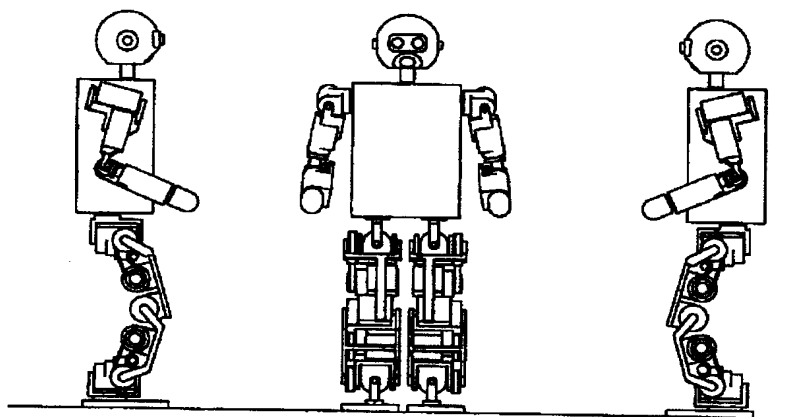
【図38】



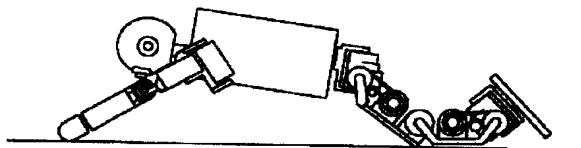
【図41】



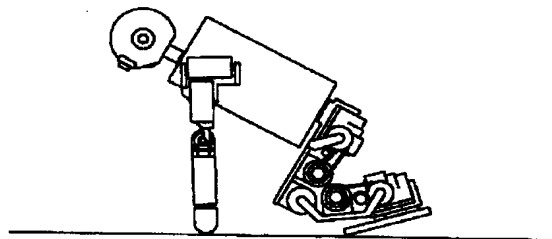
【図36】



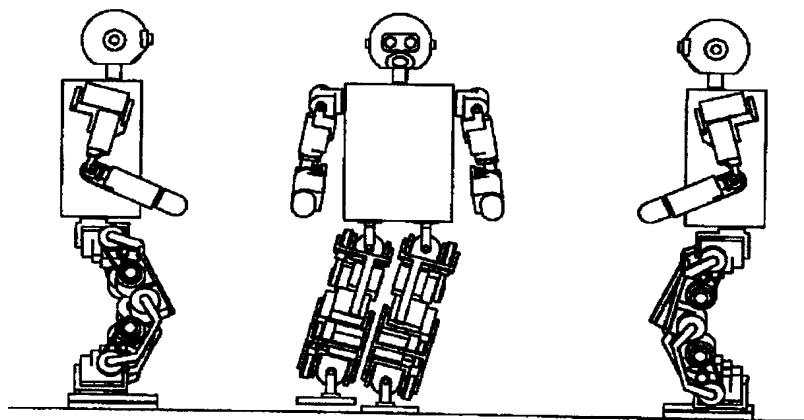
【図39】



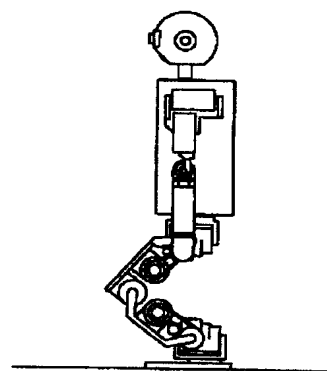
【図40】



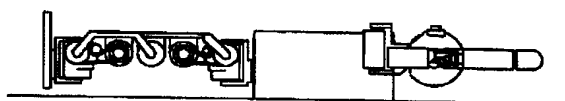
【図 37】



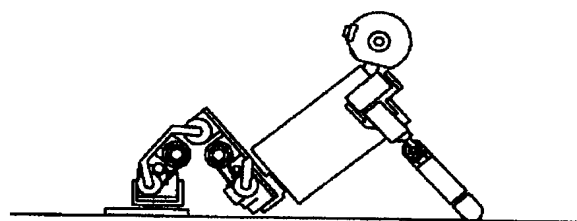
【図 42】



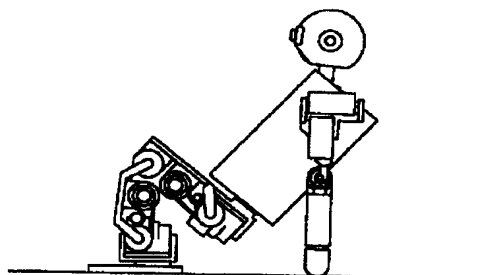
【図 43】



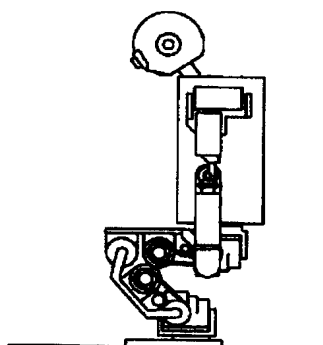
【図 44】



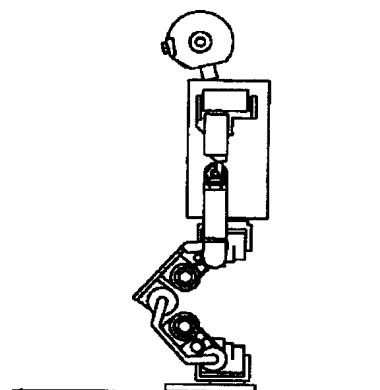
【図 45】



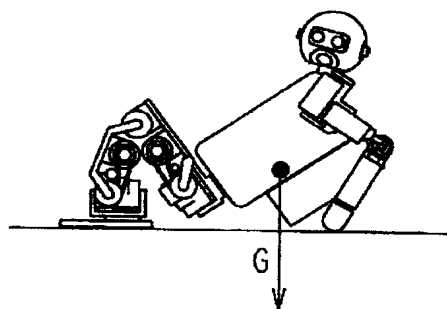
【図 46】



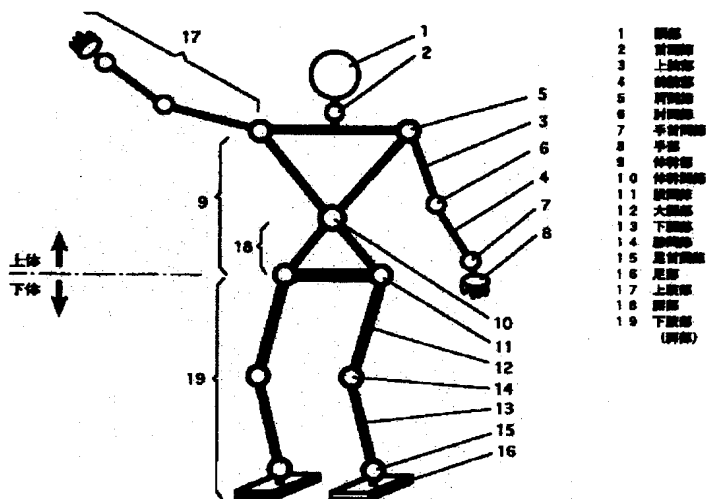
【図 47】



【図48】



【図49】



【公報種別】特許法第17条の2の規定による補正の掲載  
 【部門区分】第2部門第3区分  
 【発行日】平成16年9月9日(2004.9.9)

【公開番号】特開2001-150370(P2001-150370A)

【公開日】平成13年6月5日(2001.6.5)

【出願番号】特願平11-332934

【国際特許分類第7版】

B 2 5 J 5/00

B 2 5 J 9/16

【F I】

B 2 5 J 5/00 F

B 2 5 J 9/16

【手続補正書】

【提出日】平成15年8月28日(2003.8.28)

【手続補正1】

【補正対象書類名】明細書

【補正対象項目名】特許請求の範囲

【補正方法】変更

【補正の内容】

【特許請求の範囲】

【請求項1】

少なくとも下肢と、該下肢の上方に配設された上体とで構成され、下肢の運動により移動自在な脚式移動ロボットであって、  
 転倒したか否かを判断する転倒判断手段と、  
 転倒時の姿勢を判定する手段と、  
 転倒姿勢に応じた起き上がり動作パターンを実行する手段と、  
 を具備することを特徴とする脚式移動ロボット。

【請求項2】

少なくとも下肢と、該下肢の上方に配設されて体幹部に所定の可動自由度を持つ上体とで構成され、下肢の運動により移動自在な脚式移動ロボットであって、  
 転倒したか否かを判断する転倒判断手段と、  
 転倒時の姿勢を判定する手段と、  
 転倒姿勢に応じた起き上がり動作パターンを実行する手段と、  
 を具備することを特徴とする脚式移動ロボット。

【請求項3】

少なくとも下肢と、該下肢の上方に配設されて体幹部に所定の可動自由度を持つ上体とで構成され、下肢の運動により移動自在な脚式移動ロボットであって、  
 転倒したか否かを判断する転倒判断手段と、  
 転倒時に少なくとも前記体幹部の可動自由度の変位を伴う起き上がり動作パターンを実行する手段と、  
 を具備することを特徴とする脚式移動ロボット。

【請求項4】

前記体幹部は少なくともピッチ軸方向の可動自由度を有し、前記起き上がり動作パターンは該体幹部ピッチ軸方向の可動自由度を利用することを特徴とする請求項3に記載の脚式移動ロボット。

【請求項5】

前記体幹部は少なくともヨー軸方向の可動自由度を有し、前記起き上がり動作パターンは該体幹部ヨー軸方向の可動自由度を利用することを特徴とする請求項3に記載の脚式移動

ロボット。

【請求項 6】

前記体幹部は少なくともロール軸方向の可動自由度を有し、前記起き上がり動作パターンは該体幹部ロール軸方向の可動自由度を利用することを特徴とする請求項 3 に記載の脚式移動ロボット。

【請求項 7】

少なくとも下肢と、該下肢の上方に配設されて体幹部に所定の可動自由度を持つ上体とで構成され、下肢の運動により移動自在な脚式移動ロボットであって、転倒したか否かを判断する転倒判断手段と、転倒時の姿勢を判定する手段と、転倒時に他の転倒姿勢に移行するための動作パターンを実行する手段と、を具備することを特徴とする脚式移動ロボット。

【請求項 8】

前記体幹部は少なくともピッチ軸方向の可動自由度を有し、他の転倒姿勢に移行するための前記動作パターンは該体幹部ピッチ軸方向の可動自由度を利用することを特徴とする請求項 7 に記載の脚式移動ロボット。

【請求項 9】

前記体幹部は少なくともヨー軸方向の可動自由度を有し、他の転倒姿勢に移行するための前記動作パターンは該体幹部ヨー軸方向の可動自由度を利用することを特徴とする請求項 7 に記載の脚式移動ロボット。

【請求項 10】

前記体幹部は少なくともロール軸方向の可動自由度を有し、他の転倒姿勢に移行するための前記動作パターンは該体幹部ロール軸方向の可動自由度を利用することを特徴とする請求項 7 に記載の脚式移動ロボット。

【請求項 11】

少なくとも下肢と、該下肢の上方に配設された上体とで構成され、下肢の運動により移動自在な脚式移動ロボットのための動作制御方法であって、転倒したか否かを判断するステップと、転倒時の姿勢を判定するステップと、転倒姿勢に応じた起き上がり動作パターンを実行するステップと、を具備することを特徴とする脚式移動ロボットの動作制御方法。

【請求項 12】

少なくとも下肢と、該下肢の上方に配設されて体幹部に所定の可動自由度を持つ上体とで構成され、下肢の運動により移動自在な脚式移動ロボットのための動作制御方法であって、転倒したか否かを判断するステップと、転倒時の姿勢を判定するステップと、転倒姿勢に応じた起き上がり動作パターンを実行するステップと、を具備することを特徴とする脚式移動ロボットの動作制御方法。

【請求項 13】

少なくとも下肢と、該下肢の上方に配設されて体幹部に所定の可動自由度を持つ上体とで構成され、下肢の運動により移動自在な脚式移動ロボットのための動作制御方法であって、転倒したか否かを判断するステップと、転倒時に少なくとも前記体幹部の可動自由度の変位を伴う起き上がり動作パターンを実行するステップと、を具備することを特徴とする脚式移動ロボットの動作制御方法。

【請求項 14】

少なくとも下肢と、該下肢の上方に配設されて体幹部に所定の可動自由度を持つ上体とで構成され、下肢の運動により移動自在な脚式移動ロボットのための動作制御方法であって

、転倒したか否かを判断するステップと、  
転倒時に他の転倒姿勢に移行するための動作パターンを実行するステップと、  
を具備することを特徴とする脚式移動ロボットの動作制御方法。

【請求項 15】

少なくとも下肢と、該下肢の上方に配設されて体幹部に所定の可動自由度を持つ上体とで構成され、下肢の運動により移動自在な脚式移動ロボットがうつ伏せ姿勢に陥ったときのための動作制御方法であって、  
少なくとも体幹部ピッチ軸の可動自由度を利用して腕部及び脚部のみで着床する姿勢を形成するステップと、  
少なくとも体幹部ピッチ軸の可動自由度を利用して脚式移動ロボットの重心を上方に持ち上げるステップと、  
少なくとも体幹部ピッチ軸の可動自由度を利用して腕部及び脚部それぞれの着床部分における相対的位置を小さくするステップと、  
腕部及び脚部それぞれの着床部分同士が充分接近した結果、前記脚式移動ロボットの Z M P が足部着床領域に入ったことに応答して、全身の伸展を開始するステップと、  
を具備することを特徴とする脚式移動ロボットの動作制御方法。

【請求項 16】

少なくとも下肢と、該下肢の上方に配設されて体幹部に所定の可動自由度を持つ上体とで構成され、下肢の運動により移動自在な脚式移動ロボットが仰向け姿勢に陥ったときのための動作制御方法であって、  
少なくとも股関節ピッチ軸の可動自由度を利用して上体を起こした姿勢を形成するステップと、  
少なくとも体幹部ピッチ軸の可動自由度を利用して脚式移動ロボットの重心を前方に移動させるステップと、  
前記重心が充分前方に移動した結果、前記脚式移動ロボットの Z M P が足部着床領域に入ったことに応答して、全身の伸展を開始するステップと、  
を具備することを特徴とする脚式移動ロボットの動作制御方法。

【請求項 17】

少なくとも下肢と、該下肢の上方に配設されて体幹部に所定の可動自由度を持つ上体とで構成され、下肢の運動により移動自在な脚式移動ロボットが横転姿勢に陥ったときのための動作制御方法であって、  
少なくとも体幹部ヨー軸の可動自由度を利用してうつ伏せ姿勢に移行するステップと、  
を具備することを特徴とする脚式移動ロボットの動作制御方法。

【請求項 18】

少なくとも下肢と、該下肢の上方に配設されて体幹部に所定の可動自由度を持つ上体とで構成され、下肢の運動により移動自在な脚式移動ロボットが横転姿勢に陥ったときのための動作制御方法であって、  
体幹部ロール軸の可動自由度を利用して上体を床面から浮かすステップと、  
体幹部ヨー軸の可動自由度を利用してうつ伏せ姿勢に移行するステップと、  
を具備することを特徴とする脚式移動ロボットの動作制御方法。

【請求項 19】

少なくとも下肢と、該下肢の上方に配設されて体幹部に所定の可動自由度を持つ上体とで構成され、下肢の運動により移動自在な脚式移動ロボットが仰向け姿勢に陥ったときのための動作制御方法であって、  
少なくとも体幹部ヨー軸の可動自由度を利用して横転姿勢に移行するステップ  
を具備することを特徴とする脚式移動ロボットの動作制御方法。

【請求項 20】

少なくとも下肢と、該下肢の上方に配設されて体幹部に所定の可動自由度を持つ上体とで構成され、下肢の運動により移動自在な脚式移動ロボットが転倒姿勢に陥ったときのため

の動作制御方法であって、

- (a) 仰向け姿勢から横転姿勢に移行するステップ、
- (b) 横転姿勢からうつ伏せ姿勢に移行するステップ、
- (c) うつ伏せ姿勢から横転姿勢に移行するステップ、
- (d) 横転姿勢から仰向け姿勢に移行するステップ、

のうち少なくとも1つを具備することを特徴とする脚式移動ロボットの動作制御方法。